

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-161915

(43)Date of publication of application : 18.06.1999

(51)Int.Cl.

G11B 5/31  
G11B 5/265  
G11B 5/39

(21)Application number : 09-324534

(71)Applicant : TDK CORP

(22)Date of filing : 26.11.1997

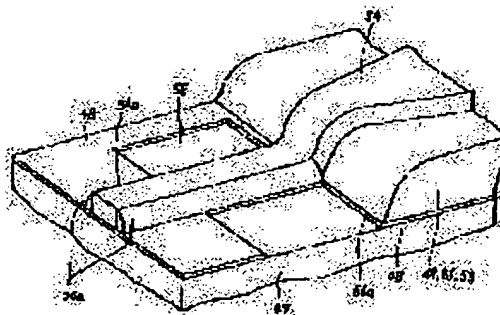
(72)Inventor : IIJIMA ATSUSHI  
SASAKI YOSHITAKA

## (54) THIN-FILM MAGNETIC HEAD AND ITS PRODUCTION

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To exactly form a throat height and to embody a high surface recording density by forming apertures having inner flanks which are a reference for a position in the parts adjacent to the magnetic pole part side of the second magnetic layer of gap layers and using these apertures as a reference at the time of polishing air bearing surfaces.

**SOLUTION:** The gap layers 48 of a thickness 150 to 300 nm consisting of alumina are formed on the first magnetic layer 47 constituting the lower magnetic pole of the thin-film magnetic head for writing. Coil parts consisting of thin-film coils insulated and separated from each other by insulating layers 49, 51, 53, etc., are laminated and formed thereon. After the second magnetic layer 54 of a film thickness 3 to 4  $\mu\text{m}$  is deposited, this magnetic layer is selectively removed by using photoresist patterns to form the magnetic pole part 54a of a desired shape. The gap layers 48 are subjected to anisotropic etching with the photoresist layer having the opening near the side edge of the magnetic pole part 54a as a mask, by which the apertures 56 are formed. The inner flanks 56a are used as a guide at the time of polishing the air bearing surfaces.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 30.06.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 26.08.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The thin film coil characterized by providing the following, and the above 1st and the 2nd magnetic layer, Opening which has the inside side which is equipped with the base which supports a gap layer, an insulating layer, and a thin film coil, and turns into a datum-reference side over the aforementioned pneumatic bearing side The thin film magnetic head characterized by forming so that the aforementioned gap layer may be penetrated into the portion which adjoins the side edge of the above 1st and the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer and a part of thickness of the 1st magnetic layer may be reached The 1st magnetic layer which has the magnetic pole portion of the width of face which counters with a magnetic-recording medium and specifies the width of face of a recording track The 2nd magnetic layer magnetically connected with the 1st magnetic layer in the position which has the magnetic pole portion which constitutes a pneumatic bearing side with the end face of the magnetic pole portion of this 1st magnetic layer, and is distant from a pneumatic bearing side The sidewall of the non-magnetic material of this 2nd magnetic layer formed so that the side of a magnetic pole portion might be worn at least The portion arranged through the insulating layer between the above 1st and the 2nd magnetic layer so that it might pass along the gap layer which consists of the non-magnetic material inserted in the aforementioned pneumatic bearing side between the magnetic pole portion of the 1st magnetic layer, and the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer at least, and the above 1st and the 2nd magnetic layer and the magnetic flux for writing might be generated in the aforementioned pneumatic bearing side

[Claim 2] The thin film magnetic head according to claim 1 characterized by wearing the front face of the aforementioned insulator layer which insulates electrically the portion located between the 1st of the aforementioned thin film coil, and the 2nd magnetic layer in the gap layer which consists of the aforementioned non-magnetic material.

[Claim 3] The thin film magnetic head according to claim 1 or 2 characterized by having arranged the magnetic-reluctance reproduction element for reading magnetically covered while insulating electrically between the aforementioned base and the 1st magnetic layer so that the side edge might be exposed to the aforementioned pneumatic bearing side, and constituting it as the compound-die thin film magnetic head.

[Claim 4] How to manufacture the thin film magnetic head characterized by providing the following The process which forms the 1st magnetic layer which has a magnetic pole portion so that it may be supported by the substrate The process which forms the gap layer of the 1st magnetic layer after the insulating layer has dissociated electrically mutually on the 1st magnetic layer of the above and forming a thin film coil which consists of a non-magnetic material on a magnetic pole portion and the aforementioned insulating layer, or forms a thin film coil at least after forming the gap layer which consists of a non-magnetic material on the 1st magnetic layer of the above, and the insulating layer has dissociated electrically mutually The process which forms the 2nd magnetic layer which has the magnetic pole portion which covers the aforementioned gap layer and is located above the magnetic pole portion of the 1st magnetic layer of the above The process of this 2nd magnetic layer which forms the sidewall of a non-magnetic material so that the side of a magnetic pole portion may be worn at least, The

aforementioned gap layer, which adjoins the side edge of the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer of the above. The magnetic pole portion and sidewall of the 2nd magnetic layer, The process which removes by the anisotropic etching which uses as a mask the photoresist layer formed on the gap layer, and forms opening, The process which the 1st magnetic layer of the above is \*\*\*\*\*ed [ process ] by using the magnetic pole portion and sidewall of the 2nd magnetic layer of the above as a mask, and makes the depth of the aforementioned opening invade into the 1st magnetic layer partially, The process which forms the pneumatic bearing side which grinds the gap layer by which the inside edge of these [ the magnetic pole portion of the substrate, the 1st, and 2nd magnetic layers and ] of this opening was pinched as criteria of a position, and counters with a magnetic-recording medium

[Claim 5] The manufacture method of the thin film magnetic head according to claim 4 characterized by making into reactive ion etching anisotropic etching which \*\*\*\*\*s the aforementioned gap layer and forms opening.

[Claim 6] About the aforementioned reactive ion etching, it is Cl<sub>2</sub> to the inside of BCl<sub>3</sub> atmosphere, or BCl<sub>3</sub>. 50% The manufacture method of the thin film magnetic head according to claim 5 characterized by carrying out in the atmosphere made to contain by the ratio which is not exceeded.

[Claim 7] The manufacture method of the thin film magnetic head according to claim 5 or 6 characterized by etching the 1st magnetic layer of the above by ion beam etching.

[Claim 8] The manufacture method of the thin film magnetic head according to claim 7 characterized by performing the aforementioned ion beam etching from the direction where only the angle of 40–70 degrees inclined from the direction perpendicular to the 1st magnetic layer.

[Claim 9] The manufacture method of the thin film magnetic head according to claim 8 characterized by performing the aforementioned ion beam etching from the direction which inclined at the angle of about 45 degrees from the direction perpendicular to the 1st magnetic layer.

[Claim 10] The manufacture method of the thin film magnetic head given in any of the claims 4–6 characterized by making etching of the 1st magnetic layer of the above into reactive ion etching they are.

[Claim 11] The manufacture method of the thin film magnetic head given in any of the claims 4–10 characterized by forming the magnetic-reluctance reproduction element for reading magnetically covered while insulating electrically between the aforementioned base and the 1st magnetic layer, and constituting the compound-die thin film magnetic head they are.

[Claim 12] In the polish process for forming the 1st magnetic layer of the above and forming the aforementioned pneumatic bearing side, after forming the 3rd magnetic layer which performs magnetic shielding on the aforementioned base and forming on it the magnetic-reluctance material film laid underground into the 2nd insulating layer The manufacture method of the thin film magnetic head according to claim 11 characterized by forming the magnetic-reluctance reproduction element which also grinds the aforementioned magnetic-reluctance material film and an end face exposes to a pneumatic bearing side while grinding the 3rd magnetic layer of the above.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention relates to the compound-die thin film magnetic head constituted by carrying out the laminating of the thin film magnetic head and its manufacture method, especially the thin film magnetic head for writing of an induction type and the head for reading which used the magnetic resistance element, and its manufacture method.

[0002]

[Description of the Prior Art] The improvement in a performance of the thin film magnetic head is called for with improvement in the field recording density of a hard disk drive unit in recent years. About the improvement in a performance of the head for reading, the magnetic resistance element is used widely. Although the thing using the anisotropy magnetic-reluctance (AMR: Anisotropic Magneto-Resistive) effect as this magnetic resistance element has generally been used conventionally, it is huge magnetic reluctance (GMR: Giant Magnetoresistive) with resistance rate of change bigger [several times] than this. The thing using the effect is also developed. With this specification, they are these AMR. A reproduction element and GMR A reproduction element will be named generically and a magnetic-reluctance reproduction element or MR reproduction element will be called. AMR It is several gigabit/by using a reproduction element. Inch 2 It is GMR, in order to be able to realize field recording density and to raise field recording density further. Using a reproduction element is proposed. Thus, by making field recording density high, it is 10G. It is becoming realizable [the mass hard disk drive unit more than a byte]. It is the height (MR Height: MR height) of a magnetic resistance element as one of the factors which determines the performance of the read head which consists of such a magnetic resistance element. It is. A side edge is the distance measured from the pneumatic bearing side of the magnetic resistance element exposed to a pneumatic bearing side, and it is made for this to obtain desired MR height in the manufacture process of the thin film magnetic head by controlling the amount of polishes at the time of ground and forming a pneumatic bearing side.

[0003] On the other hand, the improvement in a performance of the thin film magnetic head for writing is also called for. In order to raise field recording density, it is necessary to raise the track density in a magnetic-recording medium. for this reason -- being alike -- a pneumatic bearing -- \*\*\*\* -- light gap (write-gap) to kick It is necessary to narrow width of face from several microns to submicron order, and using semiconductor processing technology for this is proposed. It is throat height (Throat Height: TH) as one of the factors which determines the performance of the thin film magnetic head for writing especially. It is. This is the distance of the magnetic pole portion to the edge of the insulating layer which separates a thin film coil from a pneumatic bearing side electrically, and to shorten this distance as much as possible is desired.

[0004] Drawing 1 -12 show the sequential process and the completed sequential conventional thin film magnetic head in the manufacture method of the conventional standard thin film magnetic head, and this thin film magnetic head is the thing of the compound die which carried out the laminating of the thin film magnetic head for writing of an induction type, and the MR

reproduction element for reading. First, it is ARUTIKKU (AITiC) as shown in drawing 1 . It is abbreviation about the alumina insulating layer 12 on the substrate 11 which changes. 3–10 micrometers It deposits on thickness. Next, it is the lower shield magnetic layer 13 which constitutes magnetic shielding which protects MR reproduction element of the head for reading from magnetic field interference as shown in drawing 2 2–3  $\mu\text{m}$  After forming by thickness, as shown in drawing 3 , the thickness of 100 – 150 nm is made to carry out the spatter deposition of the alumina, and an insulating layer 14 is formed.

[0005] As shown in drawing 3 , the magnetic-reluctance layer 15 which consists of the material which has the magnetoresistance effect which constitutes MR reproduction element on this insulating layer 14 is formed in dozens of nm thickness, and it considers as a desired configuration by highly precise mask alignment. Next, it is 3–4 micrometers about the magnetic layer 17 which forms the same alumina insulating layer 16 as the alumina insulator layer 14 by the thickness of 100 – 150 nm, and consists of a permalloy on it further as shown in drawing 4 . Signs that it formed in thickness are shown in drawing 5 . This magnetic layer 17 also has a function as a lower magnetic layer of the thin film magnetic head for writing while having the function of the up shield magnetic layer which carries out magnetic shielding of the MR reproduction element with the lower shield magnetic layer 13 mentioned above. Here, for convenience, while will constitute the magnetic head for writing and this magnetic layer 17 will be called the 1st magnetic layer paying attention to being [ of explanation ] a magnetic layer. Next, it is 150–300nm about the gap layer 18 which consists of a non-magnetic material, for example, an alumina, on the 1st magnetic layer 17 as shown in drawing 6 . It forms in thickness, the photoresist layer 19 of electric insulation is further formed on this gap layer at a pattern predetermined by highly precise mask alignment, and the thin film coil 20 of the 1st layer which consists of copper is further formed on this photoresist layer.

[0006] as shown in drawing 7 , after performing highly precise mask alignment and forming the insulating photoresist layer 21 on the thin film coil 20 of the 1st layer, in order [ next, ] to make the upper surface flat — for example, — BEKU [ 250 degreeC ]. Furthermore, the state, BEKU [ 250 degreeC ] after forming the thin film coil 22 of the 2nd layer on the front face of this photoresist layer 21 made flat and forming a photoresist layer 23 by high precision mask alignment on this thin film coil 22 of the 2nd layer, in order to make flat again the front face of the photoresist layer 23 on the thin film coil 22, is shown in drawing 8 . As mentioned above, a photoresist layer 19 and the reason for forming 21 and 23 by highly precise mask alignment are because it has prescribed as criteria of a position that throat height (TH) and MR height mention later for the edge of a photoresist layer.

[0007] Next, as shown in drawing 9 , it is 3–4 micrometers about the 2nd magnetic layer 24 which consists of a permalloy the gap layer 18 and a photoresist layer 19, and on 21 and 23. According to a desired pattern, it forms alternatively by thickness. This 2nd magnetic layer 24 contacts the 1st magnetic layer 17 in the position distant from the side in which the magnetic-reluctance layer 15 was formed, and it is made for the thin film coil 20 and 22 to pass through the closed magnetic circuit constituted by the 1st and 2nd magnetic layers. The magnetic pole portion of this 2nd magnetic layer has the desired configuration of specifying the width of recording track, and the magnetic pole portion of size. Furthermore, the overcoat layer 25 which consists of an alumina is deposited on the exposure front face of the 2nd magnetic layer 24 and the gap layer 18. Pneumatic bearing side 27 which finally grinds the side 26 in which the magnetic-reluctance layer 15 was formed, and counters with a magnetic-recording medium (Air Bearing Surface:ABS) Signs that it formed are shown in drawing 10. The magnetic-reluctance layer 15 is also ground in the morphosis of this pneumatic bearing side 27, and MR reproduction element 28 is obtained. Thus, TH and MR height which were mentioned above are determined. The actual thin film magnetic head is not shown in a drawing, although the pad for performing electrical installation to the thin film coil 20, 22, and MR reproduction element 28 is formed.

[0008] drawing 10, and 11 and 12 exclude the overcoat layer 25, and it shows the conventional compound-die thin film magnetic head manufactured as mentioned above — they are each a cross section, front view, and a plan In addition, in drawing 10, in the plan which shows the alumina insulating layers 14 and 16 surrounding MR reproduction element 28 as a single

insulating layer, and is shown in drawing 12, in order to simplify a drawing, the thin film coil 22 was shown in the shape of the said heart. the segment which connects the corner of the side of the photoresist layer 19 which carries out insulating separation of the thin film coils 20 and 22, 21, and 23 as clearly shown in drawing 10 -- angle (Apex Angle:apex angle) of S and the upper surface of the 2nd magnetic layer 24 to accomplish It is the important factor which determines the performance of the thin film magnetic head with the throat height TH and MR height which also mentioned theta above. Moreover, as shown in the plan of drawing 12, it is magnetic pole partial 24a of the 2nd magnetic layer 24. Width of face W is narrow, and since the width of face of the truck recorded on a magnetic-recording medium by this width of face is specified, in order to realize high field recording density, it is necessary to make this width of face W as narrow as possible.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] As mentioned above, in order to make high field recording density on a magnetic-recording medium, it is necessary to improve the performance of the thin film magnetic head for record constituted by the 1st and 2nd magnetic layers 17 and 24, the gap layer 18, the thin film coil 20, 22, etc. Moreover, in the compound-die thin film magnetic head which carried out the laminating of the magnetic head for reading which has a magnetic resistance element as mentioned above to the thin film magnetic head for writing, it is necessary to also raise the performance of the magnetic head for reading simultaneously with raising the performance of the magnetic head for writing. Although it was important to manufacture to the value as the design value of a request of the throat height TH and the apex angle theta which are shown in drawing 10 in order to improve the performance of the magnetic head for writing, it was difficult to control these parameters by the conventional manufacture method correctly, and to manufacture as a design value.

[0010] That is, the throat height TH is magnetic pole partial 24a of the 2nd magnetic layer 24 of the thin film coil 20 and the insulating layer 19 which carries out insulating separation of 22. Although it defines as a distance between the near edge and the pneumatic bearing side 27 In an actual manufacture process, since the position of the edge of an insulating layer 19 is not clear, the pneumatic bearing side 27 is ground so that this edge shall be formed in a desired position and the throat height TH of the request of this edge as criteria of a position may be obtained. On the other hand, it is 250 °C in case the thin film coil 20 and 22 are formed. Although heat treatment of a grade is performed, by this heating, the photoresist film which constitutes an insulating layer fuses and the size of the pattern of an insulating layer is changed. Magnetic pole partial 24a which the position of the edge which the insulating layer 19 mentioned above will also be changed, and is formed as datum reference on a design of this edge as the result of this The size of the throat height TH which is length also has the fault which shifts from a desired design value. When the photoresist film which constitutes especially an insulating layer 19, 21, and 23 is formed thickly, a gap of the pattern is 0.5 μm It cannot become very large with a grade and detailed throat height TH about submicron one cannot be realized with sufficient repeatability from several microns. Moreover, in using the thick photoresist film of thickness in this way, a possibility that a pattern may collapse also by the heterogeneity of thickness becomes large. For example, at the compound-die thin film magnetic head for high frequency, the throat height TH is 1.0 μm. It is 0.5 μm, as it mentioned above, although below μm was demanded. μm For the gross errors to attain, many poor throat height TH occurs in the case of polish of the pneumatic bearing side 27, and the yield falls to it, and it has the fault in which a manufacturing cost rises.

[0011] Moreover, since the photoresist film which constitutes an insulating layer 19, 21, and 23 with heat treatment mentioned above fuses, as shown in drawing 10, the profile specified according to the side of these insulating layers changes, and there is a fault in which the apex angle theta is naturally changed. The apex angle theta influences the property of the thin film magnetic head, and by the change, often has a bird clapper as a property is poor. Thus, it was difficult to improve the property of the magnetic head for writing by the conventional manufacture method. \*\* will become large if, especially as for such difficulty, the miniaturization of the thin film magnetic head progresses. Although collapse of the pattern of the photoresist film by heat treatment of the photoresist film at the time of the fault mentioned above forming

the thin film coil 20 and 22 is the main cause, such heat treatment is an indispensable process in order to perform flattening of a coil, and insulation-ization between coils, and cannot be avoided. [0012] Furthermore, at the head for reading which consists of a magnetic resistance element, it is GMR with sensitivity high as a magnetic resistance element. Although improvement in a performance can be attained by using an element, in order to raise field recording density further, it is necessary to manufacture MR height defined as having mentioned above as height of the magnetic resistance element 28 from the pneumatic bearing side 27 as a desired design value. Although this MR height is decided in an actual manufacture process with the amount of polishes at the time of grinding the pneumatic bearing side 27 like the throat height TH mentioned above Since this polish is performed considering the edge of an insulating layer 19 as criteria of a position as mentioned above, and the position of the edge of this insulating layer is changed with heat treatment MR height will also be changed, and it cannot manufacture as a design value, but the fall of the yield by the defect of MR height arises, and there is a fault in which a manufacturing cost rises.

[0013] In the compound-die thin film magnetic head which carried out the laminating of the magnetic head for writing, and the magnetic head for reading equipped with a magnetic resistance element especially, the balance of the throat height TH of the magnetic head for writing and MR height of the magnetic head for reading is important. the alignment of the pattern of the insulating layers [ as opposed to / since these two factors are determined by the physical relationship of the insulating layer 19 which consists of a photoresist, 21, and 23, the precision of the mask alignment of MR reproduction element 28, and the process tolerance of the pneumatic bearing side 26 by polish processing / the MR layer 15 ] 19 and 21 -- the minimum error -- with, it is necessary to carry out However, since there is an error of the thin film coil 20, the insulating layer 19 which carries out insulating separation of 22, 21, the throat height TH by the pattern of the photoresist layer which constitutes 23 collapsing with heat treatment, and MR height as this error was mentioned above also as the minimum, there is a fault which cannot manufacture the balance calyx gap with the magnetic head for writing and the magnetic head for reading and the highly efficient compound-die thin film magnetic head.

[0014] Furthermore, magnetic pole section 24a [ in / the pneumatic bearing side 27 / so that clearly from drawing 11 ] of the width of face of the 1st magnetic layer 17, and the 2nd magnetic layer 24 When it differs greatly, the magnetic leakage flux called side fringe magnetic flux during record generates width of face W. In order that the 1st magnetic layer 17 may make an operation of magnetic shielding to MR reproducing head serve a double purpose in the compound-die thin film magnetic head which unified the thin film magnetic head and the MR reproducing head 28 for record especially, the width of face of the 1st magnetic layer is magnetic pole partial 24a of the 2nd magnetic layer 24. From width of face W, it becomes long inevitably and, for the reason, big side fringe magnetic flux occurs. When such side fringe magnetic flux occurs, the phenomenon called side light arises and there is a fault in which efficiency recording track width of face increases. If the side light mentioned above arises, elimination of the magnetization pattern currently recorded on a cross talk and an adjoining track with an adjoining track etc. occurs, and it is impossible to attain high side recording density, although narrow-ization of the width of face of a recording track is progressing with the latest formation of high side recording density. In order to solve such a problem, as it is shown in drawing 13, it is 17a by the height to the 1st magnetic layer 17. It forms, considers as trim structure and is magnetic pole partial 24a of the 2nd magnetic layer 24 about the width of face for this height. Making it equal to width of face is proposed, for example, it is indicated by JP,7-220245,A, the 7-225917 official report, the 7-262519 official report, the 7-296331 official report, etc.

[0015] As shown in drawing 13, it is 17a by the height to the 1st magnetic layer 17. In forming Magnetic pole partial 24a of the 2nd magnetic layer 24 In order to make consistency have with width of face, after forming the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer, By using the magnetic pole portion of this 2nd magnetic layer as a mask, while performing ion beam etching, for example, ion milling, and removing the gap layer 18, a part of the thickness is covered and 500 nm grade removal of the 1st magnetic layer 17 is carried out. However, the etch rate to the ion milling of the alumina which constitutes the gap layer 18 is abbreviation. It is 7nm a part



for /and a low, and there is a fault to which the processing time becomes long and a throughput becomes low. Moreover, the etch rate of the permalloy which is the magnetic material which constitutes the 2nd magnetic layer 24 to the ion milling at this time needed to make the thickness thicker than required in consideration of a part for 21nm/, and film decrease of the 2nd magnetic layer 24 which acts as a mask since it is quick. Thus, if the thickness is thickened in order to form the 2nd magnetic layer 24 with plating, it is the magnetic pole partial 24a.

Although it is necessary to also thicken thickness of the photoresist film used in case patterning is carried out, if a photoresist film is thickened in this way, it is magnetic pole partial 24a. There is a fault which it cannot become difficult to form width of face W narrowly, for example, cannot form a magnetic pole portion with the narrow width of face corresponding to the width of recording track of submicron order.

[0016] Furthermore, in case the gap layer 18 and the 1st magnetic layer 17 are \*\*\*\*\*ed by ion beam etching, it is magnetic pole partial 24a of the 2nd magnetic layer 24. It considers as a mask and is 17a by the height of the same configuration as the configuration. In order to form, the ion beam needed to be projected perpendicularly. However, if such perpendicular ion beam etching is performed, it is 17a by the height of the 1st magnetic layer 17. And magnetic pole partial 24a of the 2nd magnetic layer 24 The residue produced by etching will adhere to a side attachment wall, the 1st magnetic layer 17 and 2nd magnetic layer 24 short-circuit magnetically by such affix, or the effective width of recording track of the thin film magnetic head becomes large, and there is a fault from which the thin film magnetic head which has a desired property is not obtained. Although performing from across ion beam etching which covers a part of thickness of the 1st magnetic layer 17, and investigates opening is also considered, in this case, it is magnetic pole partial 24a of the 2nd magnetic layer 24. It comes to \*\*\*\*\*, a magnetic pole portion becomes thin, and the side also has the fault from which desired magnetic properties are no longer obtained.

[0017] The purpose of this invention removes the fault of the conventional thin film magnetic head mentioned above, and having a desired property, it tends to offer minutely the thin film magnetic head which made the desired value correctly the throat height TH and the size of the apex angle theta and a magnetic pole portion, and its manufacture method while having turned so that high field recording density can be realized. Having a desired property, other purposes of this invention tend to offer minutely the compound-die thin film magnetic head made into the value of a request of the size and MR height of the throat height TH, the apex angle theta, and a magnetic pole portion, and its manufacture method while having turned so that high field recording density can be realized.

[0018]

[Means for Solving the Problem] The 1st magnetic layer which has the magnetic pole portion of the width of face which the thin film magnetic head by this invention counters with a magnetic-recording medium, and specifies the width of face of a recording track, The 2nd magnetic layer magnetically connected with the 1st magnetic layer in the position which has the magnetic pole portion which constitutes a pneumatic bearing side with the end face of the magnetic pole portion of this 1st magnetic layer, and is distant from a pneumatic bearing side, The sidewall of the non-magnetic material of this 2nd magnetic layer formed so that the side of a magnetic pole portion might be worn at least, The gap layer which consists of the non-magnetic material inserted in the aforementioned pneumatic bearing side between the magnetic pole portion of the 1st magnetic layer, and the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer at least, The thin film coil which has the portion arranged through the insulating layer between the above 1st and the 2nd magnetic layer so that it might pass along the above 1st and the 2nd magnetic layer and the magnetic flux for writing might be generated in the aforementioned pneumatic bearing side, It has the base which supports the above 1st and the 2nd magnetic layer, a gap layer, an insulating layer, and a thin film coil. It is characterized by forming so that the aforementioned gap layer may be penetrated into the portion which adjoins the side edge of the above 1st and the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer in opening which has a medial surface used as the datum-reference side over the aforementioned pneumatic bearing side and a part of thickness of the 1st magnetic layer may be reached.

[0019] Furthermore, the manufacture method of the thin film magnetic head by this invention The process which forms the 1st magnetic layer which has a magnetic pole portion so that it may be supported by the substrate. After the insulating layer has dissociated electrically mutually on the 1st magnetic layer of the above and forming a thin film coil, At least [ whether the gap layer of the 1st magnetic layer which consists of a non-magnetic material on a magnetic pole portion and the aforementioned insulating layer is formed, and ] Or the process which forms a thin film coil after forming the gap layer which consists of a non-magnetic material on the 1st magnetic layer of the above, and the insulating layer has dissociated electrically mutually. The process which forms the 2nd magnetic layer which has the magnetic pole portion which covers the aforementioned gap layer and is located above the magnetic pole portion of the 1st magnetic layer of the above, The process of this 2nd magnetic layer which forms the sidewall of a non-magnetic material so that the side of a magnetic pole portion may be worn at least, The process which removes by the anisotropic etching which uses as a mask the photoresist layer in which the aforementioned gap layer which adjoins the side edge of the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer of the above was formed on the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer and the sidewall, and the gap layer, and forms opening, The process which the 1st magnetic layer of the above is \*\*\*\*\*ed [ process ] by using the magnetic pole portion and sidewall of the 2nd magnetic layer of the above as a mask, and makes the depth of the aforementioned opening invade into the 1st magnetic layer partially. It is characterized by including the process which forms the pneumatic bearing side which grinds the gap layer into which the ulnar margin of this opening was inserted by the magnetic pole portion of the substrate, the 1st, and 2nd magnetic layers, and these as criteria of a position, and counters with a magnetic-recording medium.

[0020] In case a pneumatic bearing side is formed by polish according to the thin film magnetic head of this invention mentioned above It is not necessary to make the edge of an insulating layer into the criteria of a position like before, and can grind on the basis of the medial surface of opening. the position of the medial surface of this opening Regardless of change of the position of the edge of an insulating layer, it can specify correctly on the basis of the position of this edge. And at the time of the polish processing for forming a pneumatic bearing side, since the medial surface of this opening can be seen under the microscope with which the grinder was equipped, the position of a pneumatic bearing side can be specified correctly. Therefore, the throat height TH which is the length of the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer can be correctly built as a desired design value, and the highly efficient thin film magnetic head can be obtained. Furthermore, since the sidewall which changes from a non-magnetic material to the side of the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer is formed, the thin film magnetic head which the size of a magnetic pole portion is not changed in a process, and has desired magnetic properties can be offered. Moreover, the balance of the throat height TH and MR height which mentioned above the thin film magnetic head for writing and the magnetic head for reading using the magnetic resistance element in the compound-die thin film magnetic head which carried out the laminating can be maintained at the relation of always a request, and the highly efficient compound-die thin film magnetic head can be obtained. Since the magnetic pole portion of the 1st magnetic layer can be made into trim structure, of course, it decreases, the magnetic leakage flux, i.e., the side fringe magnetic flux, at the time of record, and the width of recording track can be made small, the thin film magnetic head with high field recording density is obtained.

[0021] Furthermore, it sets to the manufacture method of the thin film magnetic head by this invention. After anisotropic etching's removing a gap layer alternatively by using as a mask the photoresist layer formed on the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer and sidewall which were covered by the non-magnetic material layer, and the gap layer and forming opening. Although the 1st magnetic layer exposed in opening is \*\*\*\*\*ed by ion milling and it is made to investigate the depth of opening to a part of thickness of the 1st magnetic layer Since the etch rate to the anisotropic etching of a gap layer is as quick as a part for 200nm/, etching processing is ended for a short time, and a throughput becomes high. Furthermore, there is little film decrease of the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer in the case of this anisotropic etching, therefore it becomes unnecessary to make thickness of this magnetic pole

portion thicker than required, and detailed-ization of it is attained as the result, and it can narrow width of face of a magnetic pole portion. Furthermore, although this opening is deeply formed until it reaches a part of thickness of the 1st magnetic layer by etching after forming opening in a gap layer by anisotropic etching It is suitable to perform this etching by ion milling. this ion milling The magnetic material which serves as an etch residue by carrying out from a direction perpendicular to the 1st magnetic layer from the direction where only 40-60 degrees only of angles of 45 degrees inclined especially carries out the reattachment to the side of a magnetic pole portion. between the 1st and 2nd magnetic layers connects too hastily magnetically, or It can prevent that the effective width of recording track spreads. Moreover, in the case of this ion milling, since it is covered by the sidewall of a non-magnetic material, even if the side of the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer performs ion milling from across, a magnetic pole portion cannot become thin and it can obtain conjointly the thin film magnetic head which has desired magnetic properties with there being little reattachment.

[0022] It is a wrap about the front face of the aforementioned insulator layer which insulates electrically the portion which is the gap layer which consists of the aforementioned non-magnetic material in an example with the suitable thin film magnetic head by this invention, and is located between the 1st of the aforementioned thin film coil, and the 2nd magnetic layer. Thus, by covering the insulating layer of a thin film coil in a gap layer, changing the position of the edge of an insulating layer is lost, therefore the edge of this insulating layer can be correctly formed for the ulnar margin for positioning of the aforementioned opening as criteria of a position. Furthermore, in an example with the suitable thin film magnetic head by this invention, while insulating electrically between the aforementioned base and the 1st magnetic layer, the magnetic resistance element for reading covered magnetically is arranged so that the side edge may be exposed to the aforementioned pneumatic bearing side, and is constituted as the compound-die thin film magnetic head.

[0023]

[Embodiments of the Invention] Drawing 14 -27 are drawing showing the state in the sequential manufacturing process of one example of the thin film magnetic head by this invention, in drawing 14 -21, A is a cross section, and B is the front view seen from the pneumatic bearing side side. Moreover, notice the relation of the size of each part about the point which is not necessarily in agreement with a dressed size in these drawings. First, it is ARUTIKKU (AITiC) as shown in drawing 14. It is about the alumina insulating layer 42 on a substrate 41. 3-10 micrometers Deposition formation is carried out at thickness. Next, it is abbreviation about the permalloy layer 43 by electroplating, using a photoresist film as a mask, in order to form the lower shield film to MR reproduction element, as shown in drawing 15. 2-3 mum It forms in thickness. Furthermore, it is 4-6 micrometers on the front face which this permalloy layer 43 and the alumina insulating layer 42 exposed. The mechanical polish after forming the alumina film 44 by thickness, or chemical machinery-polish (Chemical Mechanical Polishing: CMP) The state where flattening of the front face was carried out is shown in drawing 16.

[0024] Next, the MR film 46 which has the magnetoresistance effect so that it may be laid under the shield gap film 45 which consists of an insulating material is formed according to a predetermined pattern. 1st magnetic layer 47 which furthermore constitutes the lower magnetic pole of the thin film magnetic head for writing on it 2-4 mum In order to form in thickness alternatively and to lose a level difference further It is 5-6 micrometers about an alumina film on the whole front face. CMP after forming in thickness While grinding and exposing the front face of the 1st magnetic layer 47, signs that flattening of the whole front face was carried out are shown in drawing 17. Next, it is 150-300nm about the gap layer 48 which consists of an alumina as shown in drawing 18. It forms in thickness and the insulating layer 49 which consists of the photoresist film for determining the apex angle theta is further formed according to a predetermined pattern on it. Furthermore, the state where it formed so that insulating separation of the thin film coils 50 and 52 of each other which consist of copper on this insulating layer 49 might be carried out by insulating layers 51 and 53 is shown in drawing 19. In an insulating layer 49, 51, and 53, it is opening 47a so that the 1st magnetic layer 47 and 2nd magnetic layer may be combined magnetically behind and a closed magnetic circuit may be constituted here. It forms.

The formation method of such a thin film coil itself is the same as the conventional method.

[0025] Next, as shown in drawing 20, thickness is 3–4 micrometers. Magnetic pole partial 54a which removes alternatively using the photoresist layer of a predetermined pattern, and has predetermined width of face after depositing the 2nd magnetic layer 54 It forms. Under the present circumstances, a magnetic material is opening 47a. It deposits also on inside and the 1st magnetic layer 47 and 2nd magnetic layer 54 are magnetically connected through opening. Next, it is 150–300nm about the non-magnetic layer 55 which consists of an alumina on the front face of the 2nd magnetic layer 54, the side, and the exposure front face of the gap layer 48. Magnetic pole partial 54a after forming in thickness The portion of an except is covered with a photoresist layer, anisotropic etching is performed, and it is magnetic pole partial 54a. Sidewall 55a which changes from a non-magnetic material to the side It forms.

[0026] Next, as shown in drawing 21 –23, it is magnetic pole partial 54a of the 2nd magnetic layer 54. And sidewall 55a formed in the side Opening 56 is formed in the gap layer 48, while reactive ion etching (Reactive Ion Etching:RIE) removes the gap layer 48 by anisotropic etching and this example by using as a mask the photoresist layer in which rectangular opening was formed near the side edge of a magnetic pole portion and removing non-magnetic materials other than the side of the 2nd magnetic layer 54. This reactive ion etching is CF<sub>4</sub>, and BCl<sub>3</sub> and Cl<sub>2</sub>. Or it can carry out within the atmosphere of BCl<sub>3</sub>+Cl<sub>2</sub>. Especially, it is BCl<sub>3</sub> and Cl<sub>2</sub>. It is Cl<sub>2</sub> when carrying out within a mixed atmosphere. A content is 50%. It is suitable to make it not exceed. In addition, it sets to drawing 22, and 23, 24 and 26, and is sidewall 55a. The non-magnetic layer 55 of an except is omitted. Since the etch rate of the gap layer 48 which consists of the alumina to this reactive ion etching is as quick as a part for 100 – 300 nm/, the etching time for forming opening 56 is enough for the gap layer 48 in 1 – 2 minutes, and shortening of production time can be aimed at. Moreover, straight-line A-A which passes along the magnetic pole portions of an insulating layer 49, 51, and 53 and the edge which counters in case this opening 56 is formed, i.e., a throat height zero position, is made into the criteria of a position, and it is inside side 56a of opening. This straight-line A-A Straight-line B-B which estranged only a shell predetermined distance It forms so that it may be in agreement. Thus, since an overcoat layer (refer to drawing 9 ) is not formed yet but the magnetic pole portions of an insulating layer 49, 51, and 53 and the edge which counters can be seen in case the gap layer 48 is \*\*\*\*\*ed alternatively and opening 56 is formed, it is inside side 56a of opening 56 considering the edge of an insulating layer as criteria of a position. Position B-B It can form very correctly.

[0027] The perspective diagram of drawing 24 and the cross section of drawing 25 show signs that gave ion milling succeedingly, made the depth of opening 56 invade also into the 1st magnetic layer 47 partially, and the magnetic pole portion of the 1st magnetic layer 47 was formed in trim structure. In addition, the cross section of drawing 25 is turned off by the line which passes along opening 56, and is shown. The depth of the invasion to this 1st magnetic layer 47 can be set to about 500–800nm. It is magnetic pole partial 54a of the 2nd magnetic layer 54 by forming such trim structure. The side fringe magnetic flux which leaks from the side to the 1st magnetic layer 47 can be inhibited, and a performance can be improved further. As mentioned above, in case it \*\*\*\*\*s by ion milling, the photoresist layer used as a mask by reactive ion etching may remove the 1st magnetic layer 47. In this case, after investigating opening 56 to the 1st magnetic layer 47, the gap layer 48 is removed except for a portion with the 2nd magnetic layer 54 bottom.

[0028] Although \*\*\*\*\*ing the 1st magnetic layer 47 and forming the front face in convex trim structure by ion milling conventionally was performed, the ion beam was conventionally irradiated perpendicularly to the front face of a magnetic layer. However, when the ion beam was irradiated perpendicularly in this way, there was a fault which the reattachment of a magnetic material produces on the side and the upper surface of a magnetic pole portion, and the 1st magnetic layer and 2nd magnetic layer connect with them too hastily magnetically. In this invention, in order to cancel such a fault, 40–70 degrees irradiates an ion beam at the angle of about 45 degrees especially to a direction perpendicular to the front face of the 1st magnetic layer. However, if ion beam etching is performed from across in this way, it is magnetic pole partial 54a of the 2nd magnetic layer 54. Sidewall 55a which changes from a non-magnetic

material to the side of this magnetic pole portion in this invention since it becomes thin. It forms. Such sidewall 55a By forming, while being able to prevent effectively the reattachment of the magnetic material mentioned above, it is magnetic pole partial 54a of the 2nd magnetic layer 54. It can prevent becoming thin and the thin film magnetic head which has a desired property can be obtained.

[0029] As mentioned above, in case opening 56 is formed in this example, while the gap layer 48 is removed by reactive ion etching, it is magnetic pole partial 54a of the 2nd magnetic layer 54. In the side, it is sidewall 55a of a non-magnetic material. Since it is formed There is no reattachment of a magnetic material as compared with the case where can adopt the ion milling from slant in case the 1st magnetic layer 47 is \*\*\*\*\*ed, therefore the opening 56 whole is formed by ion milling, and the narrow thin film magnetic head of the effective width of recording track can be realized. And magnetic pole partial 54a of the 2nd magnetic layer 54 is sidewall 55a about thin \*\* in the case of ion milling. Since it can prevent, the magnetic pole portion of the size as a desired design value will be obtained.

[0030] Next, they are a substrate 41, the alumina insulating layer 42, the lower shield layer 43, the shield gap layer 45, the magnetic-reluctance film 46, the 1st magnetic layer 47, the gap layer 48, and the 2nd magnetic layer 54 Straight-line C-C of drawing 22 The state where ground to the shown position and the pneumatic bearing side 57 was formed is shown in the perspective diagram of drawing 26, and the cross section of drawing 27. In case this polish is performed, it is inside side 56a of opening 56. Since it can observe under the microscope formed in the grinder and this can be performed as criteria of a position, it is magnetic pole partial 54a. A size can be formed correctly. Namely, inside side 56a of opening 56 Since it is located in a predetermined distance from the edge of an insulating layer 49, 51, and 53 and the pneumatic bearing side 57 is formed on the basis of the inside side of this opening, it can form as the design value of a request, Distance (distance between straight-line A-A and straight-line C-C) TH, i.e., the throat height, from the edge of an insulating layer to a pneumatic bearing side, correctly. At this invention, it is inside side 56a of opening 56. It needs to be located inside the pneumatic bearing side 57, and as shown in drawing 26, as for inside side 56a of opening 56, after polish remains.

[0031] Furthermore, although the magnetic-reluctance film 46 is also ground by the polish processing for forming the pneumatic bearing side 57 and MR reproduction element 58 is formed of it in this invention Although the MR height is decided by the amount of polishes It is inside side 56a of the opening 56 which formed this polish in the gap layer 48 as mentioned above. It is carried out as criteria of a position and this inside side edge is an insulating layer 49, 51, and position A-A of the edge of 53. Since it is formed as criteria MR height will also be correctly formed as a desired design value. Furthermore, in this invention, since a desired relation is always obtained between MR height and the throat height TH, these balance can be maintained at the best state and the highly efficient compound-die thin film magnetic head can be obtained.

[0032] Drawing 28 and 29 show other cross sections and perspective diagrams of an example of the thin film magnetic head by this invention, and correspond to drawing 20 of a precedent, and 26, respectively. In this example, the same sign was attached and shown in the same portion as a precedent. In this example, while forming an insulating layer 49 before forming the gap layer 48 after forming the 1st magnetic layer 47, the thin film coils 50 and 52 in which insulating separation was carried out by insulating layers 51 and 53 on it are formed, and the gap layer 48 is formed after that on the exposure front face and insulating layer 49 of the 1st magnetic layer 47, 51, and 53. Then, the 2nd magnetic layer 54 is formed according to a desired pattern on this gap layer 48. After forming the non-magnetic material layer 55 so that the exposure front face of the gap layer 48, the upper surface of the 2nd magnetic layer 54, and the side may furthermore be worn, Anisotropic etching of the non-magnetic material layer 55 is alternatively carried out by using a photoresist layer as a mask, and it is magnetic pole partial 54a of the 2nd magnetic layer 54. The state where the sidewall which changes from a non-magnetic material to the side was formed is shown in drawing 28. It is the same as that of a precedent, after forming opening 56 in the gap layer 48 by anisotropic etching, opening is investigated to a part of thickness of the 1st magnetic layer 47 by ion milling, and future processings are inside side 56a of opening 56 further. The state where considered as criteria, performed polish processing and the pneumatic bearing

side 57 was formed is shown in drawing 29. In addition, it also sets to drawing 29 and is sidewall 55a. The non-magnetic layer 55 of an except was deleted.

[0033] Inside side 56a of the opening 56 used as the criteria of the position at the time of being a wrap and changing the position of the edge of an insulating layer being lost by the gap layer 48 in the thin film coil 50, the insulating layer 51 which carries out insulating separation of 52, and the front face of 53, therefore forming the pneumatic bearing side 57 in this example, The edge of this insulating layer can be correctly formed as criteria of a position. That is, since changing the position of the edge of an insulating layer with heat treatment at the time of performing the Fort Lee SOGURAFU processing is lost after forming an insulating layer 49, 51, the thin film coil 50 by which insulating separation was carried out by 53, and 52, opening 56 can be formed correctly. Since the thin film coil 50, the insulating layer 51 which carries out insulating separation of 52, and 53 are protected by the gap layer 48 in case ashing removes a photoresist layer, in order that a thin film coil may prevent exposing or connecting too hastily, it becomes unnecessary furthermore, to form an insulating layer 51 and 53 thickly.

[0034] this invention is not limited only to the example mentioned above, and many change and deformation are possible for it. For example, although Altech which is the alloy of an alumina-titanium carbide system as a substrate 41 was used in the example mentioned above, the substrate of other materials, such as an alumina, Si, SiO<sub>2</sub> and SiN, BN, a ceramic, and diamond-like carbon, can also be used. Moreover, as a MR reproduction element which consists of a magnetic resistance element, it is AMR. A reproduction element and GMR A reproduction element can be used. Furthermore, the gap layer 48 and sidewall 55a Although the alumina was used as a non-magnetic material to constitute, other non-magnetic materials, such as SiO<sub>2</sub>, SiN, and oxy-night RAIDO, can also be used: furthermore — the example mentioned above — as a magnetic layer 47 and 54 — Fe-nickel although the permalloy which is the alloy of a system was used — an Co-Zr-Sn system alloy and Fe-Zr-N A system alloy and Fe-Ta-C A system alloy, Co-Zr-Nb, and FeN etc. — other magnetic materials can also be used Furthermore, although constituted from an example mentioned above as the compound-die thin film magnetic head which carried out the laminating of the magnetic head for writing of an induction type, and the magnetic head for reading equipped with MR reproduction element, it can also constitute as the thin film magnetic head for writing of an induction type.

[0035]

[Effect of the Invention] Since opening which has a medial surface used as the criteria of a position over a pneumatic bearing side into the portion which adjoins the side edge of the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer of the above of a gap layer was formed according to the thin film magnetic head by this invention, and its manufacture method as mentioned above, in case a pneumatic bearing side is ground, it can form as the design value of a request of the throat height TH correctly by grinding on the basis of the medial surface of this opening. Moreover, in the case of the compound-die thin film magnetic head which carried out the laminating of the magnetic head for reading equipped with MR element, since the balance of MR height and the throat height TH can always be maintained at a desired relation while also being able to form MR height as a desired design value correctly, the property of the compound-die thin film magnetic head is easily improvable.

[0036] moreover, by forming deeply so that the thickness of the 1st magnetic layer may boil the depth of opening in part at least and it may be attained, it can consider as trim structure and the leakage of magnetic flux [ \*\*\*\* / un-] can be inhibited When forming opening furthermore, while being able to shorten etching time by removing a gap layer by the quick anisotropic etching of an etch rate, film decrease of the 2nd magnetic layer can be lessened, therefore thickness of the 2nd magnetic layer can be made thin, by this, width of face of a magnetic pole portion can be narrowed, and the width of recording track of submicron order can be realized. Furthermore, a possibility that between the 1st and 2nd magnetic layers may connect too hastily magnetically by the reattachment of a magnetic material since an ion beam can be irradiated from across in case the 1st magnetic layer is \*\*\*\*\*ed by ion beam etching after anisotropic etching removes a gap layer, or the effective width of recording track may become large disappears, and improvement in a performance can be aimed at. Furthermore, since the sidewall of a non-

magnetic material was formed in the side of the magnetic pole portion of the 2nd magnetic layer, the thin film magnetic head which that of a magnetic pole portion becoming thin is lost in case ion beam etching from slant is performed, can form the magnetic pole portion of a desired size correctly, therefore has desired magnetic properties can be obtained.

[0037] The front face of the insulating layer which carries out insulating separation of the thin film coil in a gap layer furthermore, in the 2nd example of a wrap It is lost that the edge of an insulating layer fuses and the pattern of an insulating layer collapses. Since the position of the edge of an insulating layer used as the datum reference of throat height is specified correctly, the position of the inside side of opening is decided on the basis of this position and a pneumatic bearing side is ground considering this inside side as criteria of a position, the throat height TH can be formed correctly. Moreover, since there is also no change of the profile of an insulating layer, let the apex angle  $\theta$  be a desired design value correctly. Furthermore, since the medial surface of opening serves as criteria of a position in case MR reproduction element is formed, physical relationship of the throat height TH and MR height can be made into the thing of always a request, and these balance can be made into the best state.

[0038] As mentioned above, the highly efficient thin film magnetic head which was carried out as the design value of a request of the throat height TH, the apex angle  $\theta$ , and MR height according to this invention can be obtained, the detailed thin film magnetic head which made especially the width of recording track submicron from several microns can be obtained, and improvement in field recording density can be aimed at. Moreover, since the thin film magnetic head as a design value is obtained on the occasion of manufacture, the yield is improved and cost can be reduced.

---

[Translation done.]

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-161915

(43)公開日 平成11年(1999)6月18日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

FI

G11B 5/31

G11B 5/31

D

5/265

5/265

K

5/39

5/39

F

審査請求 未請求 請求項の数12 OL (全13頁)

(21)出願番号

特願平9-324534

(22)出願日

平成9年(1997)11月26日

(71)出願人 000003067

ティーディーケー株式会社

東京都中央区日本橋1丁目13番1号

(72)発明者 飯島 淳

東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内

(72)発明者 佐々木 芳高

東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内

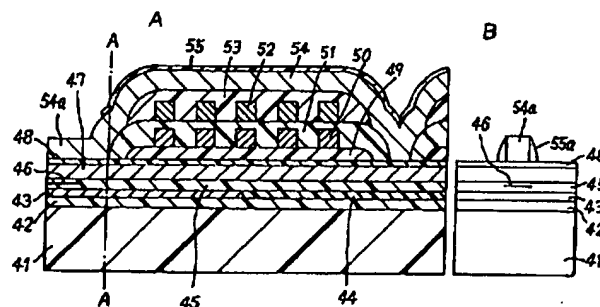
(74)代理人 弁理士 杉村 暁秀 (外8名)

(54)【発明の名称】 薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 面記録密度を向上するために微細化するにも拘らず磁極部分のスロットハイトTHおよびMRハイトを所望の設計値通りとするとともに書込の際のサイドフリンジ磁束を少なくした高性能の薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法を提供する。

【解決手段】 第1の磁性層47の上にギャップ層48を形成し、絶縁層49、51、53によって絶縁分離された薄膜コイル50、52を形成した後、第2の磁性層54を所定のパターンにしたがって形成する。第2の磁性層の磁極部分54aの側面に非磁性材料のサイドウォール55aを形成した後、磁極部分に隣接するギャップ層48を異方性エッチングによって選択的に除去した後、斜めからのイオンミリングによって第1の磁性層を部分的に除去して位置基準となる内側側面56aを有する開口部56を形成し、この内側側面を位置の基準としてエアベアリング面を研磨する。





## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁気記録媒体と対向し、記録トラックの幅を規定する幅の磁極部分を有する第1の磁性層と、この第1の磁性層の磁極部分の端面とともにエアベアリング面を構成する磁極部分を有し、エアベアリング面から離れた位置において第1の磁性層と磁氣的に連結された第2の磁性層と、

この第2の磁性層の少なくとも磁極部分の側面を覆うように形成された非磁性材料のサイドウォールと、少なくとも前記エアベアリング面において第1の磁性層の磁極部分と第2の磁性層の磁極部分との間に介挿された非磁性材料より成るギャップ層と、

前記第1および第2の磁性層を通り、前記エアベアリング面において書込用磁束を発生させるように前記第1および第2の磁性層の間に絶縁層を介して配設された部分を有する薄膜コイルと、

前記第1および第2の磁性層、ギャップ層、絶縁層および薄膜コイルを支持する基体とを具備、

前記エアベアリング面に対する位置基準面となる内側面を有する開口部を、前記第1および第2の磁性層の磁極部分の側縁と隣接する部分に、前記ギャップ層を貫通して第1の磁性層の厚さの一部分にまで達するように形成したことを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項2】 前記非磁性材料より成るギャップ層で、前記薄膜コイルの第1および第2の磁性層間に位置する部分を電氣的に絶縁する前記絶縁膜の表面を覆ったことを特徴とする請求項1記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項3】 前記基体と、第1の磁性層との間に、電氣的に絶縁されるとともに磁氣的に遮蔽された読取用の磁気抵抗再生素子を、その側縁が前記エアベアリング面に露出するように配設して複合型薄膜磁気ヘッドとして構成したことを特徴とする請求項1または2に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項4】 薄膜磁気ヘッドを製造する方法であって、

磁極部分を有する第1の磁性層を基板によって支持されるように形成する工程と、

前記第1の磁性層の上に絶縁層によって互いに電氣的に分離された状態で薄膜コイルを形成した後、第1の磁性層の少なくとも磁極部分の上および前記絶縁層の上に非磁性材料より成るギャップ層を形成するか、または前記第1の磁性層の上に非磁性材料より成るギャップ層を形成した後に、絶縁層によって互いに電氣的に分離された状態で薄膜コイルを形成する工程と、

前記ギャップ層を覆い、前記第1の磁性層の磁極部分の上方に位置する磁極部分を有する第2の磁性層を形成する工程と、

この第2の磁性層の少なくとも磁極部分の側面を覆うように非磁性材料のサイドウォールを形成する工程と、前記第2の磁性層の磁極部分の側縁と隣接する前記ギャ

ップ層を、第2の磁性層の磁極部分およびサイドウォールと、ギャップ層上に形成したフォトレジスト層をマスクとする異方性エッチングにより除去して開口部を形成する工程と、

前記第2の磁性層の磁極部分およびサイドウォールをマスクとして前記第1の磁性層をエッチングして前記開口部の深さを第1の磁性層に部分的に侵入させる工程と、この開口部の内側縁を位置の基準として基板、第1および第2の磁性層の磁極部分およびこれらによって挟まれたギャップ層を研磨して磁気記録媒体と対向するエアベアリング面を形成する工程と、を含むことを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項5】 前記ギャップ層をエッチングして開口部を形成する異方性エッチングをリアクティブイオンエッチングとすることを特徴とする請求項4に記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項6】 前記リアクティブイオンエッチングを、 $\text{BCl}_3$ 雰囲気中または $\text{BCl}_3$ に $\text{Cl}_2$ を50%を越えない比率で含有させた雰囲気中で行なうことを特徴とする請求項5に記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項7】 前記第1磁性層のエッチングをイオンビームエッチングで行なうことを特徴とする請求項5または6に記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項8】 前記イオンビームエッチングを、第1の磁性層に垂直な方向から40～70°の角度だけ傾斜した方向から行なうことを特徴とする請求項7に記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項9】 前記イオンビームエッチングを、第1の磁性層に垂直な方向からほぼ45°の角度で傾斜した方向から行なうことを特徴とする請求項8に記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項10】 前記第1の磁性層のエッチングをリアクティブイオンエッチングとすることを特徴とする請求項4～6の何れかに記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項11】 前記基体と第1の磁性層との間に、電氣的に絶縁されるとともに磁氣的に遮蔽された読取用の磁気抵抗再生素子を形成して複合型薄膜磁気ヘッドを構成することを特徴とする請求項4～10の何れかに記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項12】 前記基体上に磁気遮蔽を行なう第3の磁性層を形成し、その上に第2の絶縁層中に埋設した磁気抵抗材料膜を形成した後、前記第1の磁性層を形成し、前記エアベアリング面を形成するための研磨工程において、前記第3の磁性層を研磨するとともに前記磁気抵抗材料膜をも研磨して端面がエアベアリング面に露出する磁気抵抗再生素子を形成することを特徴とする請求項11に記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、薄膜磁気ヘッドお

よびその製造方法、特に誘導型の書込用薄膜磁気ヘッドと磁気抵抗素子を用いた読取用ヘッドとを積層して構成されている複合型薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法に関するものである。

#### 【0002】

【従来の技術】近年ハードディスク装置の面記録密度の向上に伴って薄膜磁気ヘッドの性能向上が求められている。読取用ヘッドの性能向上に関しては、磁気抵抗素子が広く用いられている。この磁気抵抗素子としては、異方性磁気抵抗 (AMR: Anisotropic Magneto-Resistive) 効果を用いたものが従来一般に使用されてきたが、これよりも抵抗変化率が数倍も大きな巨大磁気抵抗 (GMR: Giant Magnetoresistive) 効果を用いたものも開発されている。本明細書では、これら AMR 再生素子および GMR 再生素子を総称して磁気抵抗再生素子または MR 再生素子と称することにする。AMR 再生素子を使用することにより数ギガビット/インチ<sup>2</sup>の面記録密度を実現することができ、さらに面記録密度を上げるためには GMR 再生素子を使用することが提案されている。このように面記録密度を高くすることにより、10G バイト以上の大容量のハードディスク装置の実現が可能となってきた。このような磁気抵抗素子より成る読取ヘッドの性能を決定する要因の一つとして磁気抵抗素子の高さ (MR Height: MRハイト) がある。これは、側縁がエアベアリング面に露出する磁気抵抗素子の、エアベアリング面から測った距離であり、薄膜磁気ヘッドの製造過程においては、エアベアリング面を研磨して形成する際の研磨量を制御することによって所望の MR ハイトを得るようにしている。

【0003】一方、書込用の薄膜磁気ヘッドの性能向上も求められている。面記録密度を上げるためには、磁気記録媒体でのトラック密度を上げる必要がある。このためには、エアベアリング面におけるライトギャップ (write-gap) の幅を数ミクロンからサブミクロンオーダーまで狭くする必要があり、これには半導体加工技術を利用することが提案されている。特に、書込用薄膜磁気ヘッドの性能を決定する要因の一つとしてスロートハイト (Throat Height: TH) がある。これはエアベアリング面から薄膜コイルを電気的に分離する絶縁層のエッジまでの磁極部分の距離であり、この距離をできるだけ短くすることが望まれている。

【0004】図1～12は従来の標準的な薄膜磁気ヘッドの製造方法における順次の工程および完成した従来の薄膜磁気ヘッドを示すものであり、この薄膜磁気ヘッドは誘導型の書込用薄膜磁気ヘッドおよび読取用の MR 再生素子とを積層した複合型のものである。まず、図1に示すように、例えばアルティック (AlTiC) より成る基板11上にアルミナ絶縁層12を約 3～10  $\mu\text{m}$  の厚さに堆積する。次に、図2に示すように、読取用ヘッドの MR 再生素子を外部磁界の影響から保護する磁気シールドを構成する下部シールド磁性層13を2～3  $\mu\text{m}$  の膜厚で形成した後、

図3に示すようにアルミナを100～150 nmの膜厚にスパッタ堆積させて絶縁層14を形成する。

【0005】図3に示すように、この絶縁層14の上に MR 再生素子を構成する磁気抵抗効果を有する材料より成る磁気抵抗層15を数十nmの膜厚に形成し、高精度のマスクアライメントで所望の形状とする。次に、図4に示すように、アルミナ絶縁層14と同様のアルミナ絶縁層16を100～150 nmの膜厚で形成し、さらにその上にパーマロイより成る磁性層17を3～4  $\mu\text{m}$  の膜厚に形成した様子を図5に示す。この磁性層17は上述した下部シールド磁性層13とともに MR 再生素子を磁気遮蔽する上部シールド磁性層の機能を有するとともに書込用薄膜磁気ヘッドの下部磁性層としての機能をも有するものである。ここでは説明の便宜上この磁性層17を書込用磁気ヘッドを構成する一方の磁性層であることに注目して第1の磁性層と称することにする。次に、図6に示すように、第1の磁性層17の上に非磁性材料、例えばアルミナより成るギャップ層18を150～300nmの膜厚に形成し、さらにこのギャップ層の上に電気絶縁性のフォトレジスト層19を高精度のマスクアライメントで所定のパターンに形成し、さらにこのフォトレジスト層の上に、例えば銅より成る第1層目の薄膜コイル20を形成する。

【0006】次に、図7に示すように、第1層目の薄膜コイル20の上に、高精度のマスクアライメントを行って絶縁性のフォトレジスト層21を形成した後、その上面を平坦とするために、例えば 250° C でベークする。さらに、このフォトレジスト層21の平坦とした表面の上に第2層目の薄膜コイル22を形成し、この第2層目の薄膜コイル22の上に高精度マスクアライメントでフォトレジスト層23を形成した後、再度薄膜コイル22の上のフォトレジスト層23の表面を平坦とするために、例えば 250° C でベークした状態を図8に示す。上述したように、フォトレジスト層19、21および23を高精度のマスクアライメントで形成する理由は、後述するようにフォトレジスト層のエッジを位置の基準としてスロートハイト (TH) や MR ハイトを規定しているためである。

【0007】次に、図9に示すように、ギャップ層18およびフォトレジスト層19、21および23の上に、例えばパーマロイより成る第2の磁性層24を3～4  $\mu\text{m}$  の膜厚で所望のパターンにしたがって選択的に形成する。この第2の磁性層24は磁気抵抗層15を形成した側から離れた位置において第1の磁性層17と接触し、第1および第2の磁性層によって構成される閉磁路を薄膜コイル20、22が通り抜けるようにしている。この第2の磁性層の磁極部分はトラック幅を規定する所望の形状およびサイズの磁極部分を有している。さらに、第2の磁性層24およびギャップ層18の露出表面の上にアルミナより成るオーバーコート層25を堆積する。最後に、磁気抵抗層15を形成した側面26を研磨して磁気記録媒体と対向するエアベアリング面 (Air Bearing Surface: ABS) 27 を形成した様子を

図10に示す。このエアベアリング面27の形成過程において磁気抵抗層15も研磨され、MR再生素子28が得られる。このようにして上述したTHおよびMRハイトが決定される。実際の薄膜磁気ヘッドにおいては、薄膜コイル20、22およびMR再生素子28に対する電気的接続を行なうためのパッドが形成されているが、図面には示していない。

【0008】図10、11および12は、上述したようにして製造された従来の複合型薄膜磁気ヘッドを、オーバーコート層25を省いて示すそれぞれ断面図、正面図および平面図である。なお、図10においては、MR再生素子28を囲むアルミナ絶縁層14および16を単一の絶縁層として示し、図12に示す平面図においては、図面を簡単とするために薄膜コイル22を同心状に示した。図10に明瞭に示すように、薄膜コイル20、22を絶縁分離するフォトレジスト層19、21、23の側面の角部を結ぶ線分Sと第2の磁性層24の上面との成す角度(Apex Angle: アベックスアングル)  $\theta$  も上述したスロートハイトTHおよびMRハイトとともに薄膜磁気ヘッドの性能を決定する重要なファクタとなっている。また、図12の平面図に示すように、第2の磁性層24の磁極部分24aの幅Wは狭くなっており、この幅によって磁気記録媒体に記録されるトラックの幅が規定されるので、高い面記録密度を実現するためには、この幅Wをできるだけ狭くする必要がある。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】 上述したように、磁気記録媒体上での面記録密度を高くするためには、第1および第2の磁性層17および24、ギャップ層18、薄膜コイル20、22などによって構成される記録用の薄膜磁気ヘッドの性能を向上する必要がある。また、上述したように磁気抵抗素子を有する読取用磁気ヘッドを書込用薄膜磁気ヘッドと積層した複合型薄膜磁気ヘッドにおいては、書込用の磁気ヘッドの性能を向上させるのと同時に読取用の磁気ヘッドの性能も向上させる必要がある。書込用磁気ヘッドの性能を向上するためには、図10に示すスロートハイトTHおよびアベックスアングル $\theta$ を所望の設計値通りの値に製造することが重要であるが、従来の製造方法ではこれらのパラメータを正確に制御し、設計値通りに製造することは困難であった。

【0010】すなわち、スロートハイトTHは薄膜コイル20、22を絶縁分離する絶縁層19の、第2の磁性層24の磁極部分24a側の端縁とエアベアリング面27との間の距離として定義されるが、実際の製造過程においては、絶縁層19の端縁の位置は明瞭ではないので、この端縁が所望の位置に形成されているものとし、この端縁を位置の基準として所望のスロートハイトTHが得られるようにエアベアリング面27を研磨している。一方、薄膜コイル20、22を形成する際には、250℃程度の熱処理が施されるが、この加熱によって絶縁層を構成するフォトレジスト膜が熔融し、絶縁層のパターンの寸法が変動する。これによって絶縁層19の上述した端縁の位置も変動すること

になり、その結果としてこの端縁を設計上の位置基準として形成される磁極部分24aの長さであるスロートハイトTHの寸法も所望の設計値からずれてしまう欠点がある。特に絶縁層19、21、23を構成するフォトレジスト膜が厚く形成される場合には、そのパターンのずれは0.5  $\mu\text{m}$ 程度ときわめて大きくなり、数ミクロンからサブミクロン程度の微細なスロートハイトTHを再現性良く実現することはできない。また、このように膜厚の厚いフォトレジスト膜を使用する場合には、膜厚の不均一性によってもパターンがくずれる恐れが大きくなる。例えば、高周波数用の複合型薄膜磁気ヘッドでは、スロートハイトTHは1.0  $\mu\text{m}$ 以下が要求されているが、上述したように0.5  $\mu\text{m}$ にも達する大きな誤差のために、エアベアリング面27の研磨の際にスロートハイトTH不良が数多く発生してしまい歩留りが低下し、製造コストが上昇する欠点がある。

【0011】また、上述した熱処理によって絶縁層19、21、23を構成するフォトレジスト膜が熔融するので、図10に示すようにこれらの絶縁層の側面によって規定されるプロファイルが変化し、アベックスアングル $\theta$ も当然変動してしまう欠点がある。アベックスアングル $\theta$ も薄膜磁気ヘッドの特性に影響し、その変動によって特性が不良となることがしばしばある。このように従来の製造方法では、書込用磁気ヘッドの特性を向上するのが困難であった。このような困難性は特に薄膜磁気ヘッドの小型化が進めば進ほど大きくなるものである。上述した欠点は、薄膜コイル20、22を形成する際のフォトレジスト膜の熱処理によるフォトレジスト膜のパターンのくずれが主たる原因になっているが、このような熱処理はコイルの平坦化やコイル間の絶縁化を行なうためには必須の工程であり、避けることができないものである。

【0012】さらに、磁気抵抗素子より成る読取用ヘッドでは、磁気抵抗素子として感度の高いGMR素子を使用することによって性能の向上が達成できるが、さらに面記録密度を向上させるには、上述したようにエアベアリング面27からの磁気抵抗素子28の高さとして定義されるMRハイトを所望の設計値通りに製造する必要がある。実際の製造過程においては、このMRハイトは上述したスロートハイトTHと同様にエアベアリング面27を研磨する際の研磨量によって決められるが、上述したようにこの研磨は絶縁層19の端縁を位置の基準として行われ、この絶縁層の端縁の位置が熱処理によって変動するので、MRハイトも変動することになり、設計値通りに製造することができず、MRハイトの不良による歩留りの低下が生じ、製造コストが上昇する欠点がある。

【0013】特に、書込用磁気ヘッドと磁気抵抗素子を具える読取用磁気ヘッドとを積層した複合型薄膜磁気ヘッドにおいては、書込用磁気ヘッドのスロートハイトTHと読取用磁気ヘッドのMRハイトとのバランスが重要である。これら二つのファクタは、フォトレジストより成る

絶縁層19、21、23の位置関係と、MR再生素子28のマスクアライメントの精度と、研磨加工によるエアベアリング面26の加工精度によって決定されるので、MR層15に対する絶縁層19および21のパターンの位置合わせを最小の誤差を以て行なう必要がある。しかしながら、この誤差を最小としても、上述したように薄膜コイル20、22を絶縁分離する絶縁層19、21、23を構成するフォトレジスト層のパターンが熱処理によってくずれることによるスロートハイトTHとMRハイトの誤差があるため、書込用磁気ヘッドと読取用磁気ヘッドとのバランスがくずれ、高性能の複合型薄膜磁気ヘッドを製造することができない欠点がある。

【0014】さらに、図11から明らかなように、エアベアリング面27における第1の磁性層17の幅と第2の磁性層24の磁極部分24aの幅Wとは大きく異なっている場合、記録中にサイドフリンジ磁束と呼ばれる漏洩磁束が発生する。特に記録用の薄膜磁気ヘッドとMR再生ヘッド28とを一体化した複合型薄膜磁気ヘッドにおいては、第1の磁性層17がMR再生ヘッドに対する磁気シールドの作用を兼用するため、第1の磁性層の幅が第2の磁性層24の磁極部分24aの幅Wよりも必然的に長くなり、そのため大きなサイドフリンジ磁束が発生する。このようなサイドフリンジ磁束が発生すると、サイドライトと呼ばれる現象が生じ、実効的な記録トラック幅が増大してしまう欠点がある。最近の高面記録密度化に伴い、記録トラックの幅の狭小化が進んでいるが、上述したサイドライトが生じると、隣接トラックとのクロストークや隣接トラックに記録されている磁化パターンの消去などが発生し、高面記録密度が達成できなくなっている。このような問題を解決するために、図13に示すように、第1の磁性層17に凸状部分17aを形成してトリム構造とし、この凸状部分の幅を第2の磁性層24の磁極部分24aの幅と等しくすることが提案されており、例えば特開平7-220245号公報、同7-225917号公報、同7-262519号公報および同7-296331号公報などに開示されている。

【0015】図13に示したように第1の磁性層17に凸状部分17aを形成するに当たっては、第2の磁性層24の磁極部分24aの幅と整合させるために、第2の磁性層の磁極部分を形成した後、この第2の磁性層の磁極部分をマスクとしてイオンビームエッチング、例えばイオンミリングを行ってギャップ層18を除去するとともに第1の磁性層17をその膜厚の一部分に亘って500 nm程度除去している。しかし、ギャップ層18を構成するアルミナのイオンミリングに対するエッチング速度は、例えば約7nm/分と低いので、処理時間が長くなりスループットが低くなる欠点がある。また、このときのイオンミリングに対する第2の磁性層24を構成する磁性材料であるパーマロイのエッチング速度は21nm/分と速いので、マスクとして作用する第2の磁性層24の膜減りを考慮してその膜厚を必要以上に厚くする必要がある。このように第2の

磁性層24をメッキ法によって形成するため、その膜厚を厚くすると、その磁極部分24aをパターニングする際に使用されるフォトレジスト膜の膜厚も厚くする必要があるが、このようにフォトレジスト膜を厚くすると磁極部分24aの幅Wを狭く形成することが困難となり、例えばサブミクロンオーダのトラック幅に対応する幅の狭い磁極部分を形成することができない欠点がある。

【0016】さらに、イオンビームエッチングによってギャップ層18および第1の磁性層17をエッチングする際に、第2の磁性層24の磁極部分24aをマスクとしてその形状と同じ形状の凸状部分17aを形成するためには、垂直にイオンビームを投射する必要がある。しかし、このような垂直のイオンビームエッチングを行うと、第1の磁性層17の凸状部分17aおよび第2の磁性層24の磁極部分24aの側壁にエッチングにより生じた残渣が付着することになり、このような付着物によって第1の磁性層17と第2の磁性層24とが磁氣的に短絡したり、薄膜磁気ヘッドの実効トラック幅が広がってしまい、所望の特性を有する薄膜磁気ヘッドが得られない欠点がある。第1の磁性層17の厚みの一部分に亘って開口部を掘り下げるイオンビームエッチングを斜め方向から行なうことも考えられるが、この場合には第2の磁性層24の磁極部分24aの側面もエッチングされるようになり、磁極部分が細くなってしまい、所望の磁気特性が得られなくなる欠点がある。

【0017】本発明の目的は上述した従来の薄膜磁気ヘッドの欠点を除去し、所望の特性を有しながら高い面記録密度を実現できるように微細化されているとともにスロートハイトTHやアベックスアングル $\theta$ 、磁極部分の寸法を正確に所望の値とした薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法を提供しようとするものである。本発明の他の目的は、所望の特性を有しながら、高い面記録密度を実現できるように微細化されているとともにスロートハイトTH、アベックスアングル $\theta$ 、磁極部分の寸法およびMRハイトを所望の値とした複合型薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法を提供しようとするものである。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明による薄膜磁気ヘッドは、磁気記録媒体と対向し、記録トラックの幅を規定する幅の磁極部分を有する第1の磁性層と、この第1の磁性層の磁極部分の端面とともにエアベアリング面を構成する磁極部分を有し、エアベアリング面から離れた位置において第1の磁性層と磁氣的に連結された第2の磁性層と、この第2の磁性層の少なくとも磁極部分の側面を覆うように形成された非磁性材料のサイドウォールと、少なくとも前記エアベアリング面において第1の磁性層の磁極部分と第2の磁性層の磁極部分との間に介挿された非磁性材料より成るギャップ層と、前記第1および第2の磁性層を通り、前記エアベアリング面において書込用磁束を発生させるように前記第1および第2の磁

性層の間に絶縁層を介して配設された部分を有する薄膜コイルと、前記第1および第2の磁性層、ギャップ層、絶縁層および薄膜コイルを支持する基体とを具え、前記エアベアリング面に対する位置基準面となる内側面を有する開口部を、前記第1および第2の磁性層の磁極部分の側縁と隣接する部分に、前記ギャップ層を貫通して第1の磁性層の厚さの一部分にまで達するように形成したことを特徴とするものである。

【0019】さらに、本発明による薄膜磁気ヘッドの製造方法は、磁極部分を有する第1の磁性層を基板によって支持されるように形成する工程と、前記第1の磁性層の上に絶縁層によって互いに電氣的に分離された状態で薄膜コイルを形成した後、第1の磁性層の少なくとも磁極部分の上および前記絶縁層の上に非磁性材料より成るギャップ層を形成するか、または前記第1の磁性層の上に非磁性材料より成るギャップ層を形成した後に、絶縁層によって互いに電氣的に分離された状態で薄膜コイルを形成する工程と、前記ギャップ層を覆い、前記第1の磁性層の磁極部分の上方に位置する磁極部分を有する第2の磁性層を形成する工程と、この第2の磁性層の少なくとも磁極部分の側面を覆うように非磁性材料のサイドウォールを形成する工程と、前記第2の磁性層の磁極部分の側縁と隣接する前記ギャップ層を、第2の磁性層の磁極部分およびサイドウォールとギャップ層上に形成したフォトリソ層をマスクとする異方性エッチングにより除去して開口部を形成する工程と、前記第2の磁性層の磁極部分およびサイドウォールをマスクとして前記第1の磁性層をエッチングして前記開口部の深さを第1の磁性層に部分的に侵入させる工程と、この開口部の内側縁を位置の基準として基板、第1および第2の磁性層の磁極部分およびこれらによって挟まれたギャップ層を研磨して磁気記録媒体と対向するエアベアリング面を形成する工程と、を含むことを特徴とするものである。

【0020】上述した本発明の薄膜磁気ヘッドによれば、研磨によりエアベアリング面を形成する際に、従来のように絶縁層のエッジを位置の基準とする必要はなく、開口部の内側面を基準として研磨することができ、この開口部の内側面の位置は、絶縁層の端縁の位置の変動とは無関係にこの端縁の位置を基準として正確に規定することができ、しかもエアベアリング面を形成するための研磨処理のときにはこの開口部の内側面を、研磨機に装着した顕微鏡で見ることができるので、エアベアリング面の位置を正確に規定できる。したがって、第2の磁性層の磁極部分の長さであるスロートハイトTHを正確に所望の設計値通りに造ることができ、高性能の薄膜磁気ヘッドを得ることができる。さらに、第2の磁性層の磁極部分の側面には非磁性材料より成るサイドウォールが形成されているので、磁極部分の寸法がプロセス中に変動することはなく、所望の磁気特性を有する薄膜磁気ヘッドを提供することができる。また、書き込み用の薄膜磁

気ヘッドと磁気抵抗素子を用いた読取用磁気ヘッドとを積層した複合型薄膜磁気ヘッドにおいては、上述したスロートハイトTHとMRハイトとのバランスを常に所望の関係に保つことができ、高性能の複合型薄膜磁気ヘッドを得ることができる。勿論第1の磁性層の磁極部分をトリム構造とすることができるので、記録時の漏洩磁束、すなわちサイドフリンジ磁束は少なくなり、トラック幅を小さくすることができるため、面記録密度が高い薄膜磁気ヘッドが得られる。

【0021】さらに、本発明による薄膜磁気ヘッドの製造方法においては、非磁性材料層によって覆われた第2の磁性層の磁極部分およびサイドウォールとギャップ層の上に形成したフォトリソ層をマスクとしてギャップ層を異方性エッチングによって選択的に除去して開口部を形成した後、開口部内に露出した第1の磁性層を、例えばイオンミリングでエッチングして開口部の深さを第1の磁性層の膜厚の一部分にまで掘り下げるようにしているが、ギャップ層の異方性エッチングに対するエッチング速度は、例えば200nm/分と速いので、短時間でエッチング処理は終了し、スループットが高くなる。さらに、この異方性エッチングの際の第2の磁性層の磁極部分の膜減りは少なく、したがってこの磁極部分の膜厚を必要以上に厚くしておく必要がなくなり、その結果として微細化が可能となり、磁極部分の幅を狭くすることができる。さらに、異方性エッチングによりギャップ層に開口部を形成した後、この開口部をエッチングにより第1の磁性層の膜厚の一部分に達するまで深く形成するが、このエッチングはイオンミリングで行なうのが好適であり、このイオンミリングを、第1の磁性層に垂直な方向から40°~60°、特に45°の角度だけ傾斜した方向から行なうことによってエッチング残渣となる磁性材料が磁極部分の側面に再付着して第1および第2の磁性層間が磁氣的に短絡したり、実効トラック幅が広がるのを防止することができる。また、このイオンミリングの際には、第2の磁性層の磁極部分の側面は非磁性材料のサイドウォールで覆われているため、イオンミリングを斜め方向から行っても磁極部分が細ることはなく、再付着が少ないということと相俟って所望の磁気特性を有する薄膜磁気ヘッドを得ることができる。

【0022】本発明による薄膜磁気ヘッドの好適な実施例においては、前記非磁性材料より成るギャップ層で、前記薄膜コイルの第1および第2の磁性層間に位置する部分を電氣的に絶縁する前記絶縁膜の表面を覆う。このようにギャップ層で薄膜コイルの絶縁層を覆うことにより絶縁層の端縁の位置が変動することがなくなり、したがって前記開口部の位置決め用の内側縁をこの絶縁層の端縁を位置の基準として正確に形成することができる。さらに、本発明による薄膜磁気ヘッドの好適な実施例においては、前記基体と、第1の磁性層との間に、電氣的に絶縁されるとともに磁氣的に遮蔽された読取用の磁気

抵抗素子を、その側縁が前記エアベアリング面に露出するように配設して複合型薄膜磁気ヘッドとして構成する。

#### 【0023】

【発明の実施の形態】図14～27は本発明による薄膜磁気ヘッドの一実施例の順次の製造工程における状態を示す図であり、図14～21において、Aは断面図であり、Bはエアベアリング面側から見た正面図である。また、これらの図面において各部の寸法の関係は必ずしも実際の寸法とは一致していない点に注意されたい。先ず、図14に示すように、アルティック (AlTiC) 基板41の上にアルミナ絶縁層42を3～10 $\mu\text{m}$ の厚さに堆積形成する。次に、図15に示すように、MR再生素子に対する下部シールド膜を形成するために、フォトレジスト膜をマスクとして鍍金法によってパーマロイ層43を約2～3 $\mu\text{m}$ の厚さに形成する。さらに、このパーマロイ層43およびアルミナ絶縁層42の露出した表面の上に4～6 $\mu\text{m}$ の膜厚でアルミナ膜44を形成した後、機械的研磨または化学機械的研磨 (Chemical Mechanical Polishing: CMP) によって表面を平坦化した状態を図16に示す。

【0024】次に、絶縁材料より成るシールドギャップ膜45に埋設されるように磁気抵抗効果を有するMR膜46を所定のパターンにしたがって形成し、さらにその上に書込用薄膜磁気ヘッドの下部磁極を構成する第1の磁性層47を2～4 $\mu\text{m}$ の厚さに選択的に形成し、さらに段差をなくすために、表面全体の上にアルミナ膜を5～6 $\mu\text{m}$ の厚さに形成した後、CMPで研磨して第1の磁性層47の表面を露出させるとともに表面全体を平坦化した様子を図17に示す。次に、図18に示すようにアルミナより成るギャップ層48を150～300nmの膜厚に形成し、さらにその上にアベックスアングル $\theta$ を決定するためのフォトレジスト膜より成る絶縁層49を所定のパターンにしたがって形成する。さらに、この絶縁層49の上に銅より成る薄膜コイル50および52を絶縁層51および53によって互いに絶縁分離するように形成した状態を図19に示す。ここで、後に第1の磁性層47と第2の磁性層とが磁氣的に結合されて閉磁路が構成されるように絶縁層49、51、53には開口47aを形成する。このような薄膜コイルの形成方法そのものは従来の方法と同じである。

【0025】次に、図20に示すように、膜厚が3～4 $\mu\text{m}$ の第2の磁性層54を堆積した後、所定のパターンのフォトレジスト層を用いて選択的に除去して所定の幅を有する磁極部分54aを形成する。この際、磁性材料は開口47aの中にも堆積され、第1の磁性層47と第2の磁性層54とは開口を介して磁氣的に連結される。次に、第2の磁性層54の表面および側面並びにギャップ層48の露出表面上にアルミナより成る非磁性層55を、例えば150～300nmの厚さに形成した後、磁極部分54a以外の部分をフォトレジスト層によって被覆して異方性エッチングを行い、磁極部分54aの側面に非磁性材料より成るサイドウ

オール55aを形成する。

【0026】次に、図21～23に示すように、第2の磁性層54の磁極部分54aおよびその側面に形成したサイドウォール55aと、磁極部分の側縁近傍に矩形的開口を形成したフォトレジスト層をマスクとしてギャップ層48を異方性エッチング、本例ではリアクティブイオンエッチング (Reactive Ion Etching: RIE) により除去して第2の磁性層54の側面以外の非磁性材料を除去するとともにギャップ層48に開口部56を形成する。このリアクティブイオンエッチングは、例えば $\text{CF}_4$ 、 $\text{BCl}_3$ 、 $\text{Cl}_2$ または $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2$ の雰囲気内で行なうことができる。特に、 $\text{BCl}_3$ と $\text{Cl}_2$ との混合雰囲気内で行なう場合には、 $\text{Cl}_2$ の含有量が50%を越えないようにするのが好適である。なお、図22、23、24および26においては、サイドウォール55a以外の非磁性層55は省略してある。このリアクティブイオンエッチングに対するアルミナより成るギャップ層48のエッチング速度は100～300nm/分と速いので、ギャップ層48に開口部56を形成するためのエッチング時間は1～2分で十分であり、製造時間の短縮が図れる。また、この開口部56を形成する際には、絶縁層49、51、53の、磁極部分と対向する端縁を通る直線A-A、すなわちスロートハイト零位置を位置の基準とし、開口部の内側側面56aがこの直線A-Aから所定の距離だけ離間した直線B-Bと一致するように形成する。このようにギャップ層48を選択的にエッチングして開口部56を形成する際にはまだオーバーコート層 (図9参照) が形成されておらず、絶縁層49、51、53の、磁極部分と対向する端縁を見ることができるので、絶縁層の端縁を位置の基準として開口部56の内側側面56aの位置B-Bをきわめて正確に形成することができる。

【0027】引き続きイオンミリングを施して開口部56の深さを第1の磁性層47にも部分的に侵入させて第1の磁性層47の磁極部分をトリム構造に形成した様子を図24の斜視図および図25の断面図で示す。なお、図25の断面図は、開口部56を通る線で切って示すものである。この第1の磁性層47への侵入の深さは、例えば500～800nm程度とすることができる。このようなトリム構造を形成することによって第2の磁性層54の磁極部分54aの側面から第1の磁性層47に洩れるサイドフリンジ磁束を抑止することができ、さらに性能を向上することができる。上述したように第1の磁性層47をイオンミリングでエッチングする際には、リアクティブイオンエッチングでマスクとして使用したフォトレジスト層は除去しても良い。その場合には、開口部56を第1の磁性層47まで掘り下げた後は、第2の磁性層54の下側にある部分を除いてギャップ層48は除去される。

【0028】従来、イオンミリングによって第1の磁性層47をエッチングしてその表面を凸状のトリム構造に形成することは行われているが、従来はイオンビームを磁性層の表面に対して垂直に照射していた。しかしイオン

ビームをこのように垂直に照射すると、磁極部分の側面および上面に磁性材料の再付着が生じて第1の磁性層と第2の磁性層とが磁気的に短絡される欠点があった。本発明ではこのような欠点を解消するために、第1の磁性層の表面に垂直な方向に対して40~70°、特にほぼ45°の角度でイオンビームを照射する。しかしこのように斜めからイオンビームエッチングを行うと、第2の磁性層54の磁極部分54aが細るので、本発明ではこの磁極部分の側面に非磁性材料より成るサイドウォール55aを形成する。このようなサイドウォール55aを形成することによって、上述した磁性材料の再付着を有効に防止することができる。とともに第2の磁性層54の磁極部分54aが細るのを防止することができ、所望の特性を有する薄膜磁気ヘッドを得ることができる。

【0029】上述したように、本実施例においては開口部56を形成する際、ギャップ層48はリアクティブイオンエッチングによって除去されているとともに第2の磁性層54の磁極部分54aの側面には非磁性材料のサイドウォール55aが形成されているので、第1の磁性層47をエッチングする際には斜めからのイオンミリングを採用することができ、したがって開口部56全体をイオンミリングで形成する場合と比較して磁性材料の再付着がなく、実効トラック幅の狭い薄膜磁気ヘッドを実現することができる。しかも、イオンミリングの際に、第2の磁性層54の磁極部分54aが細るのをサイドウォール55aで防止できるので、所望の設計値通りの寸法の磁極部分が得られることになる。

【0030】次に、基板41、アルミナ絶縁層42、下部シールド層43、シールドギャップ層45、磁気抵抗膜46、第1の磁性層47、ギャップ層48および第2の磁性層54を図22の直線C-Cで示す位置まで研磨してエアベアリング面57を形成した状態を図26の斜視図および図27の断面図に示す。この研磨を行なう際には、開口部56の内側側面56aを研磨機に設けた顕微鏡によって観察し、これを位置の基準として行なうことができるので、磁極部分54aの寸法を正確に形成することができる。すなわち、開口部56の内側側面56aは絶縁層49、51、53の端縁から所定の距離に位置しており、エアベアリング面57はこの開口部の内側側面を基準として形成されているので、絶縁層の端縁からエアベアリング面までの距離（直線A-Aと直線C-Cとの間の距離）、すなわちスロートハイトTHを所望の設計値通りに正確に形成することができる。本発明では、開口部56の内側側面56aはエアベアリング面57の内側に位置している必要があり、図26に示すように研磨後も開口部56の内側側面56aは残存している。

【0031】さらに、本発明においては、エアベアリング面57を形成するための研磨処理によって磁気抵抗膜46も研磨されてMR再生素子58が形成されるが、そのMRハイトは研磨量によって決まるが、上述したようにこの研磨はギャップ層48に形成した開口部56の内側側面56aを位

置の基準として行われ、この内側側縁は絶縁層49、51、53の端縁の位置A-Aを基準として形成されているので、MRハイトも所望の設計値通りに正確に形成されることになる。さらに、本発明においては、MRハイトとスロートハイトTHとの間に常に所望の関係が得られるので、これらのバランスを最良の状態に保つことができ、高性能の複合型薄膜磁気ヘッドを得ることができる。

【0032】図28および29は本発明による薄膜磁気ヘッドの他の実施例の断面図および斜視図を示すものであり、前例の図20および26にそれぞれ対応するものである。本例において前例と同様の部分には同じ符号を付けて示した。本例においては、第1の磁性層47を形成した後、ギャップ層48を形成する以前に絶縁層49を形成するとともにその上に絶縁層51および53によって絶縁分離された薄膜コイル50および52を形成し、その後に第1磁性層47の露出表面および絶縁層49、51、53の上にギャップ層48を形成する。その後、このギャップ層48の上に第2の磁性層54を所望のパターンにしたがって形成し、さらにギャップ層48の露出表面および第2磁性層54の上面および側面を覆うように非磁性材料層55を形成した後、フォトリソグラフ層をマスクとして非磁性材料層55を選択的に異方性エッチングして第2磁性層54の磁極部分54aの側面に非磁性材料より成るサイドウォールを形成した状態を図28に示す。以後の処理は前例と同様であり、異方性エッチングによってギャップ層48に開口部56を形成した後、イオンミリングで開口部を第1の磁性層47の厚さの一部分まで掘り下げ、さらに開口部56の内側側面56aを基準として研磨処理を行ってエアベアリング面57を形成した状態を図29に示す。なお、図29においてもサイドウォール55a以外の非磁性層55は削除した。

【0033】本例においては、ギャップ層48によって薄膜コイル50、52を絶縁分離する絶縁層51、53の表面を覆うので、絶縁層の端縁の位置が変動することがなくなり、したがってエアベアリング面57を形成する際の位置の基準となる開口部56の内側側面56aを、この絶縁層の端縁を位置の基準として正確に形成することができる。すなわち、絶縁層49、51、53で絶縁分離された薄膜コイル50、52を形成した後、フォトリソグラフ処理を行なう際の熱処理によって絶縁層の端縁の位置が変動することがなくなるので、開口部56を正確に形成できる。さらに、フォトリソグラフ層をアッシングにより除去する際にも、薄膜コイル50、52を絶縁分離する絶縁層51、53はギャップ層48によって保護されるので、薄膜コイルが露出したり短絡したりするのを防止するために絶縁層51、53を厚く形成する必要はなくなる。

【0034】本発明は上述した実施例にのみ限定されるものではなく、幾多の変更や変形が可能である。例えば、上述した実施例では、基板41としてアルミナ-チタンカーバイト系の合金であるアルテックを用いたが、アルミナ、Si、SiO<sub>2</sub>、SiN、BN、セラミック、ダイヤモンド



ドライカーボンなどの他の材料の基板を用いることもできる。また、磁気抵抗素子より成るMR再生素子としてはAMR 再生素子やGMR 再生素子を使用することができ、さらに、ギャップ層48やサイドウォール55aを構成する非磁性材料としてアルミナを使用した、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiN}$ 、オキシナイトライドなどの他の非磁性材料を用いることもできる。さらに、上述した実施例では磁性層47、54としてFe-Ni系の合金であるパーマロイを用いたが、Co-Zr-Sn系合金、Fe-Zr-N系合金、Fe-Ta-C系合金、Co-Zr-Nb、FeNなどの他の磁性材料を使用することもできる。さらに、上述した実施例では誘導型の書込用磁気ヘッドとMR再生素子とを具える読取用磁気ヘッドとを積層した複合型薄膜磁気ヘッドとして構成したが、誘導型の書込用薄膜磁気ヘッドとして構成することもできる。

#### 【0035】

【発明の効果】上述したように本発明による薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法によれば、ギャップ層の、前記第2の磁性層の磁極部分の側縁と隣接する部分に、エアベアリング面に対する位置の基準となる内側面を有する開口部を形成したため、エアベアリング面を研磨する際にこの開口部の内側面を基準として研磨することによってスロートハイトTHを所望の設計値通りに正確に形成することができる。また、MR素子を具える読取用磁気ヘッドを積層した複合型薄膜磁気ヘッドの場合には、MRハイトも所望の設計値通りに正確に形成できるとともにMRハイトとスロートハイトTHとのバランスを常に所望の係数に保つことができるので、複合型薄膜磁気ヘッドの特性を容易に改善することができる。

【0036】また、開口部の深さを第1の磁性層の膜厚の少なくとも一部分に達するように深く形成することによりトリム構造とすることができ、不所望な磁束の漏れを抑止することができる。さらに開口部を形成する場合には、ギャップ層をエッチング速度の速い異方性エッチングで除去することによりエッチング時間を短縮することができるとともに第2の磁性層の膜減りを少なくすることができ、したがって第2の磁性層の膜厚を薄くすることができ、これによって磁極部分の幅を狭くすることができ、サブミクロンオーダのトラック幅を実現することができる。さらに、ギャップ層を異方性エッチングによって除去した後、イオンビームエッチングによって第1の磁性層をエッチングする際に、イオンビームを斜めから照射することができるので磁性材料の再付着によって第1および第2の磁性層間が磁氣的に短絡されたり、実効トラック幅が広がったりする恐れがなくなり、性能の向上が図れる。さらに、第2磁性層の磁極部分の側面に非磁性材料のサイドウォールを形成したので、斜めからのイオンビームエッチングを行なう際にも磁極部分が細ることはなくなり、所望の寸法の磁極部分を正確に形成することができ、したがって所望の磁気特性を有する薄膜磁気ヘッドを得ることができる。

【0037】さらに、薄膜コイルを絶縁分離する絶縁層の表面をギャップ層で覆う第2の実施例では、絶縁層の端縁が溶融して絶縁層のパターンがくずれることがなくなり、スロートハイトの位置基準となる絶縁層の端縁の位置が正確に規定され、この位置を基準として開口部の内側側面の位置が決められ、この内側側面を位置の基準としてエアベアリング面が研磨されるので、スロートハイトTHを正確に形成することができる。また、絶縁層のプロファイルの変動もないので、アベックスアングル $\theta$ も正確に所望の設計値とすることができる。さらに、MR再生素子を形成する際にも開口部の内側面が位置の基準となるので、スロートハイトTHとMRハイトとの位置関係を常に所望のものとすることができ、これらのバランスを最良の状態とすることができる。

【0038】上述したように本発明によれば、スロートハイトTH、アベックスアングル $\theta$ およびMRハイトを所望の設計値通りした高性能の薄膜磁気ヘッドが得られ、特にトラック幅を数ミクロンからサブミクロンとした微細な薄膜磁気ヘッドを得ることができ、面記録密度の向上を図ることができる。また、製造に際しては設計値通りの薄膜磁気ヘッドが得られるので、歩留りが改善され、コストを低減することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、従来の複合型薄膜磁気ヘッドの製造方法の最初の工程を示す断面図である。

【図2】図2は、同じくその次の工程を示す断面図である。

【図3】図3は、同じくその次の工程を示す断面図である。

【図4】図4は、同じくその次の工程を示す断面図である。

【図5】図5は、同じくその次の工程を示す断面図である。

【図6】図6は、同じくその次の工程を示す断面図である。

【図7】図7は、同じくその次の工程を示す断面図である。

【図8】図8は、同じくその次の工程を示す断面図である。

【図9】図9は、同じくその次の工程を示す断面図である。

【図10】図10は、同じくその次の工程を示す断面図である。

【図11】図11は、同じくその正面図である。

【図12】図12は、同じくその平面図である。

【図13】図13は磁極部分にトリム構造を形成した従来の薄膜磁気ヘッドの正面図である。

【図14】図14Aおよび14Bは、本発明による薄膜磁気ヘッドの製造方法の最初の工程を示す断面図および正面図である。



【図15】図15Aおよび15Bは、同じくその次の工程を示す断面図および正面図である。

【図16】図16Aおよび16Bは、同じくその次の工程を示す断面図および正面図である。

【図17】図17Aおよび17Bは、同じくその次の工程を示す断面図および正面図である。

【図18】図18Aおよび18Bは、同じくその次の工程を示す断面図および正面図である。

【図19】図19Aおよび19Bは、同じくその次の工程を示す断面図および正面図である。

【図20】図20Aおよび20Bは、同じくその次の工程を示す断面図および正面図である。

【図21】図21Aおよび21Bは、同じくその次の工程を示す断面図および正面図である。

【図22】図22は同じくその平面図である。

【図23】図23は同じくその磁極部分の周囲のギャップ層に開口部を形成した様子を示す斜視図である。

【図24】図24は同じくその開口部を下側の磁性層の

一部分まで掘り下げた状態を示す斜視図である。

【図25】図25は同じくその断面図である。

【図26】図26はエアベアリング面を形成した薄膜磁気ヘッドの磁極部分を示す斜視図である。

【図27】図27は同じくその断面図である。

【図28】図28は本発明による薄膜磁気ヘッドの他の実施例の製造途中の状態を示す断面図である。

【図29】図29は同じくそのエアベアリング面を形成した後の磁極部分の構成を示す斜視図である。

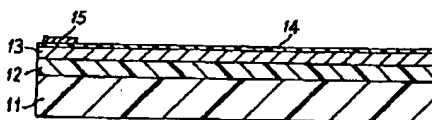
【符号の説明】

41 基板、42 アルミナ絶縁層、43 下部シールド磁性層、44 アルミナ膜、45シールドギャップ膜、46 MR層、47 第1の磁性層、48 ギャップ層、49、51、53 絶縁層、50、52 薄膜コイル、54 第2の磁性層、54a 磁極部分、55非磁性材料層、55a サイドウォール、56 開口部、56a 開口部の内側側面、57 エアベアリング面、58 MR再生素子

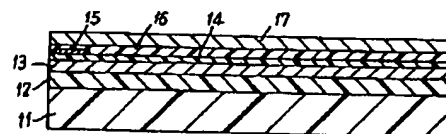
【図1】



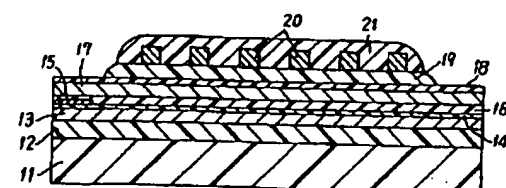
【図3】



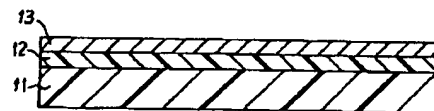
【図5】



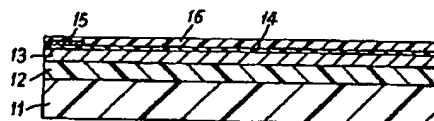
【図7】



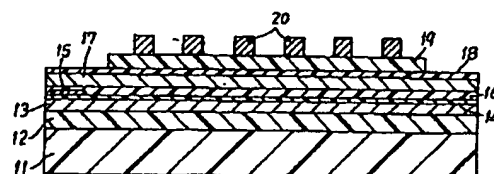
【図2】



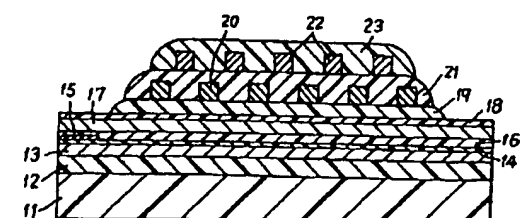
【図4】



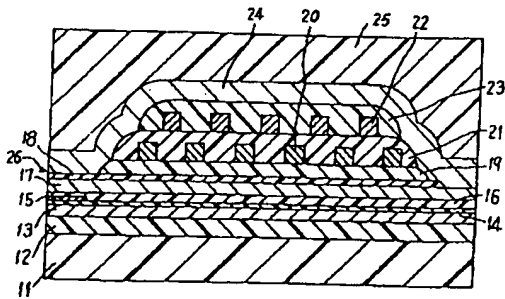
【図6】



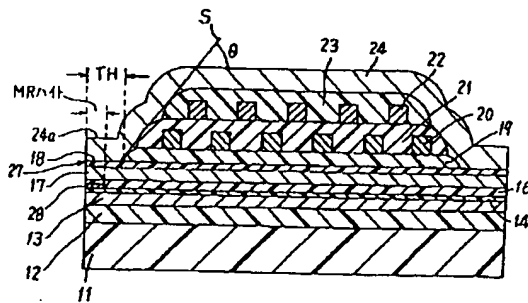
【図8】



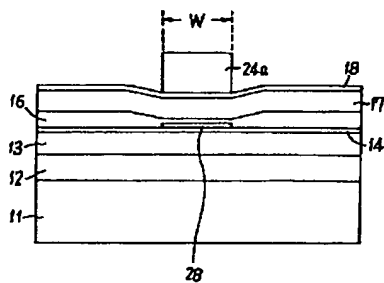
【図9】



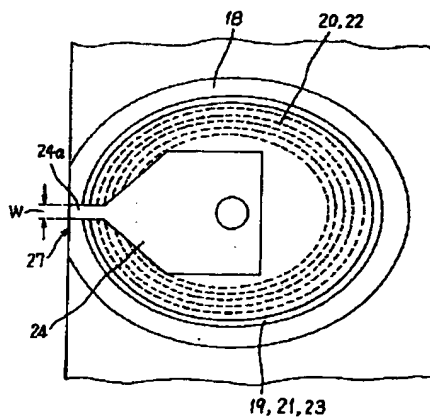
【図10】



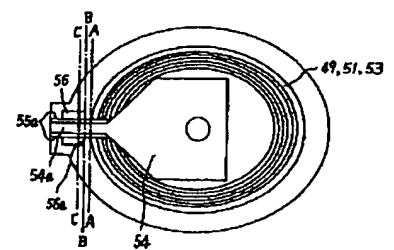
【図11】



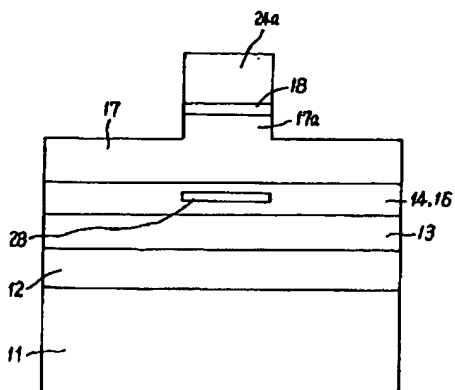
【図12】



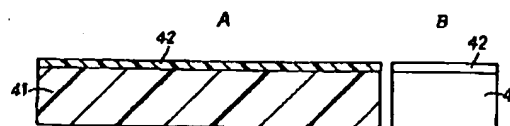
【図22】



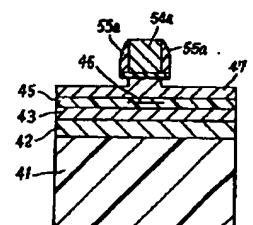
【図13】



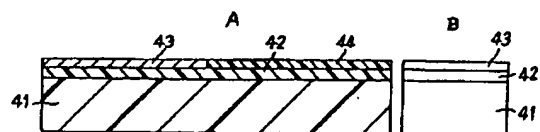
【図14】



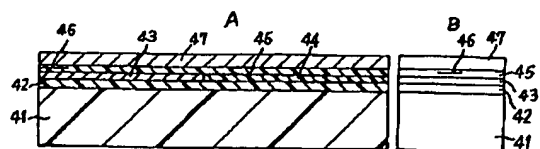
【図25】



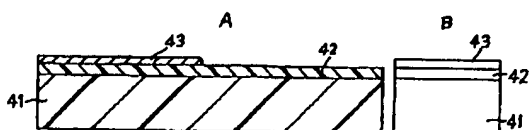
【図16】



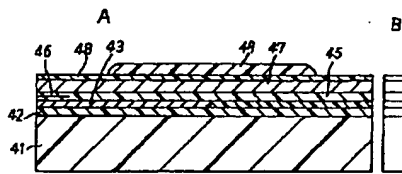
【図17】



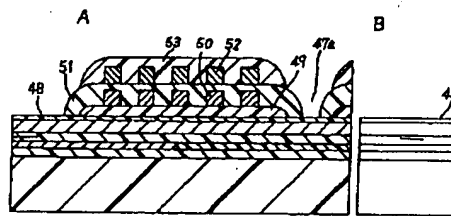
【図15】



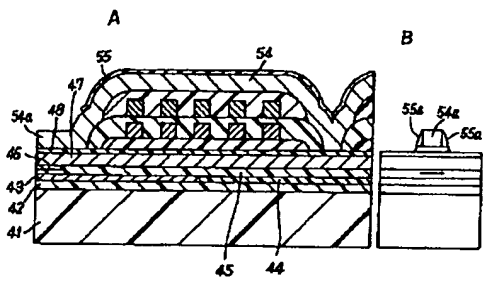
【図18】



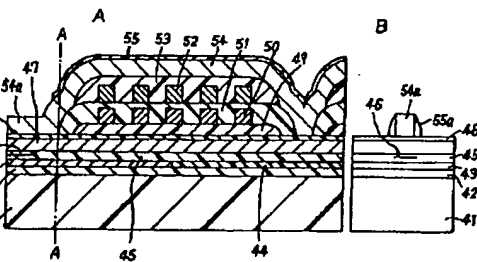
【図19】



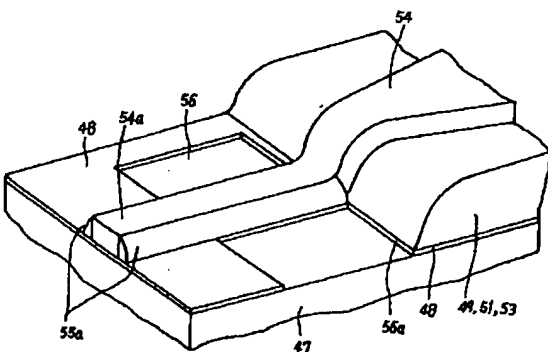
【図20】



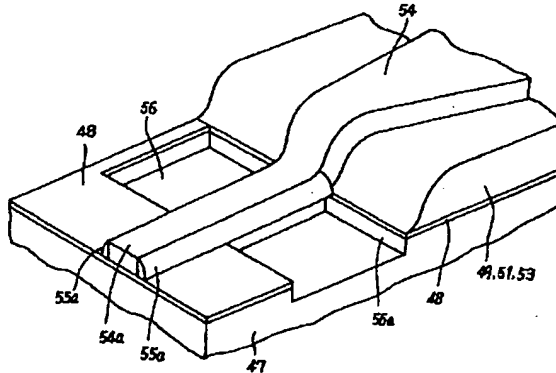
【図21】



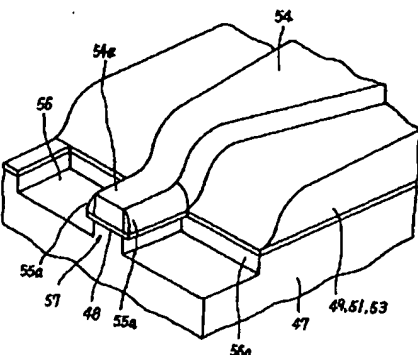
【図23】



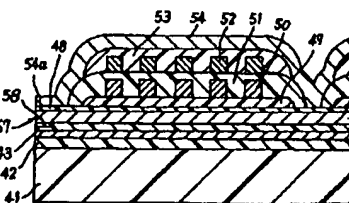
【図24】



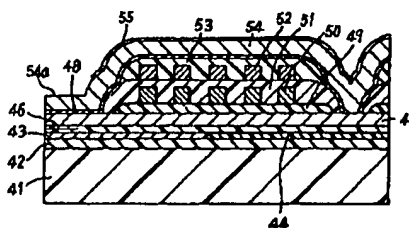
【図26】



【図27】



【図28】



【図29】

